

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-303126

(43)Date of publication of application : 13.11.1998

(51)Int.Cl. H01L 21/027
G03F 7/20
G03F 7/22
G06F 15/18
H01L 21/02

(21)Application number : 10-035964 (71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 18.02.1998 (72)Inventor : YOSHIDA KOJI

(30)Priority

Priority number : 09 46109 Priority date : 28.02.1997 Priority country : JP

(54) METHOD FOR DECIDING MOVING SEQUENCE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently obtain the optimum solution in accordance with the duration of required computation time by adopting the principle finally presenting the optimum solution in the alternation of generations in which such a series of operations as the local and regional searching of a space at issue which is the principle of a genetic algorithm is repetitively performed.

SOLUTION: When such an exposure sequence that each chip area is only passed once without overlapping is arbitrarily prepared by referring to a two-dimensional table storing the shortest moving time to each unit moving sequence, a gene representing an arbitrary possible basic solution can be generated. When preliminary tests are repeated by changing the population size, crossing rate, mutation rate by using the generated genes as an initial population, the optimum solution can be generated within about 10 seconds under such a condition that the population size, crossing rate, shifting mutation rate, and scanning-direction inverted mutation rate are respective set at the number of chips, 0.5, 0.2, and 0.2 and all LK operators are applied to all genes.

LEGAL STATUS

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	F I	
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 6 B
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1
7/22		7/22	H
G 0 6 F 15/18	5 5 0	G 0 6 F 15/18	5 5 0 C
H 0 1 L 21/02		H 0 1 L 21/02	Z

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 32 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-35964

(22) 出願日 平成10年(1998) 2 月18日

(31) 優先権主張番号 特願平9-46109

(32) 優先日 平 9 (1997) 2 月28日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 吉田 幸司

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

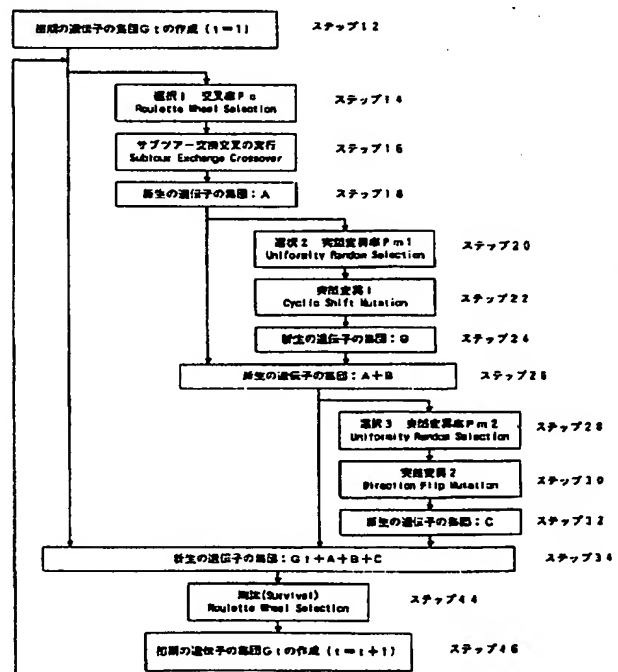
式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 移動シーケンスの決定方法

(57) 【要約】

【課題】 訪問順序と走査方向の組み合わせとが混在する移動シーケンス問題を解くのは容易ではなく、今までは経験則では近似解を演算しているにすぎなかった。

【解決手段】 複数の処理領域 (n 個のチップ領域) に対して、すべての処理領域を処理するための処理領域訪問順序 (n!) および各々の処理領域における走査方向 (m) の組み合わせ (mn) の移動シーケンスの中から、すべての処理領域を処理するための最適な移動シーケンスの解を求めるために、最適解の探索手法として遺伝的アルゴリズムを用いることを特徴とする。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 対象物に形成された複数の処理領域に対して、該複数の処理領域を処理する訪問順序および各処理領域の走査方向を管理する移動シーケンスの決定方法において、

前記処理領域の訪問順序と各処理領域の走査方向との組み合わせの移動シーケンスの中から、前記複数の処理領域を処理するための最適又は優良な移動シーケンスの解を求めるために、オペレーションズ・リサーチ的な手法及び進化的計算法の少なくともいづれか 1 つを用いることを特徴とする移動シーケンスの決定方法。

【請求項 2】 前記対象物に形成された複数の処理領域はウエハに形成されたチップ領域であることを特徴とする請求項 1 に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項 3】 前記オペレーションズ・リサーチ的な手法は、線形計画法、Lin&Kernighan の解法、k-OP T法を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項 4】 マスクと感光基板とを同期移動させて、前記感光基板に複数のチップ領域を露光するに際し、該複数のチップ領域を露光する訪問順序および各々のチップ領域の走査方向を管理する移動シーケンスの決定方法において、

前記マスク及び感光基板に関する情報に基いて、前記複数のチップ領域を露光するためのチップ領域の訪問順序と各チップ領域の走査方向との組み合わせの移動シーケンスの中から、前記複数のチップ領域を露光するための最適又は優良な移動シーケンスの解を求めることを特徴とする移動シーケンスの決定方法。

【請求項 5】 前記最適又は優良な移動シーケンスの解は、線形計画法、Lin&Kernighan の解法、k-OP T法及び進化的計算法の少なくともいづれか 1 つを用いて求めることを特徴とする請求項 4 に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項 6】 前記マスク及び感光基板に関する情報には、前記マスクに描かれたパターン領域、及び前記感光基板の大きさを含むことを特徴とする請求項 4 に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項 7】 前記マスクに関する情報を受けてから前記感光基板上の最初のチップ領域を露光するまでの時間内に得られる最適又は優良な移動シーケンスの解に基いて、前記複数のチップ領域を露光することを特徴とする請求項 4 に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項 8】 複数の処理領域を処理する訪問順序および各処理領域における走査方向を管理する移動シーケンスの決定方法において、

前記複数の処理領域に対して、前記処理領域の訪問順序と各処理領域の前記処理領域の走査方向との組み合わせの自由度を持つ移動シーケンスの中から、前記処理領域を処理するための一連の処理の総所要時間が短いという

2

意味で優良または最適な移動シーケンスの解を求めるために遺伝的アルゴリズムを用いることを特徴とする移動シーケンスの決定方法。

【請求項 9】 前記複数の処理領域のうち任意に選ばれた 1 つ以上の処理領域に前記走査方向に特定の制約が与えられた場合には、制約を満たす範囲において前記移動シーケンスの優良解または最適解を探索することを特徴とする請求項 8 に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項 10】 前記遺伝的アルゴリズムの中にオペレーションズ・リサーチ的な手法を遺伝的オペレータとして取り込むことで、前期移動シーケンスを求めるための計算の途中においても、その時点で求まっている解のうち最も優良な移動シーケンスの解を求めることができることを特徴とする請求項 8 に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項 11】 前記遺伝的アルゴリズムの初期解を生成するために、線形計画法、Lin&Kernighan の解法、もしくは k-OP T法、又はこれらの組み合わせ解法を使用することを特徴とする請求項 8 に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項 12】 前記遺伝的アルゴリズムによる計算時間を短縮するために、前記遺伝的アルゴリズムの中で随時更新される優良解を Lin&Kernighan の解法又は k-OP T法で改善することを特徴とする請求項 8 に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項 13】 前記遺伝的アルゴリズムは、突然変異オペレータを有し、前記突然変異オペレータは、前記複数の処理領域のうち処理領域の移動シーケンスを入れ替えるオペレータと前記複数の処理領域のうち処理領域の前記走査方向の往路方向／復路方向を入れ替えるオペレータとを有することを特徴とする請求項 8 に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項 14】 前記オペレーションズ・リサーチ的な手法には、線形計画法、Lin&Kernighan の解法もしくは k-OP T法、又はこれらの組み合わせ方法を含み、これらの手法で得られた解を遺伝的アルゴリズムの初期解として使用することを特徴とする請求項 10 に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項 15】 計算時間に余裕がある場合には、前記線形計画法においては、最良近傍が複数存在する場合に特定の 1 つを選択する方法を変えて計算し直すか又は探索開始点を変えて計算し直すことにより複数の優良解を求めて、この中で最も優良な解を出力し、

前記線形計画法を含む組み合わせ方法で解を得る場合においては、前記線形計画法で得た複数の優良解のそれぞれを初期解として Lin&Kernighan の解法又は k-OP T法で複数の優良解を求め、この中で最も優良な解を出力することを特徴とする請求項 14 に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項 16】 前記遺伝的アルゴリズムによる計算が

3

開始される以前に計算を中断した場合、または予め設定された計算時間において遺伝的アルゴリズムによる計算が開始可能なほど十分な時間が無いという制限がある場合には、

前記線形計画法、Lin&Kernighan の解法もしくはk-OPT法、又はこれらの組み合わせ方法で得られた優良な移動シーケンスの解を求めることができることを特徴とする請求項14に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項17】 複数の処理領域を処理する訪問順序および各処理領域における走査方向を管理する移動シーケンスの決定方法において、

前記複数の処理領域に対して、前記処理領域の訪問順序と各処理領域の前記処理領域の走査方向との組み合わせの自由度を持つ移動シーケンスの中から、前記処理領域を処理するための一連の処理の総所要時間が短いという意味で優良または最適な移動シーケンスの解を求めるために線形計画法、Lin&Kernighan の解法もしくはk-OPT法、又はこれらの組み合わせの解法を用いることを特徴とする移動シーケンスの決定方法。

【請求項18】 計算時間に余裕がある場合には、前記線形計画法においては、最良近傍が複数存在する場合に特定の1つを選択する方法を変えて計算し直すか又は探索開始点を変えて計算し直すことにより複数の優良解を求めて、この中で最も優良な解を出力し、前記線形計画法を含む組み合わせ方法で解を得る場合においては、前記線形計画法で得た複数の優良解のそれぞれを初期解としてLin&Kernighan の解法又はk-OPT法で複数の優良解を求め、この中で最も優良な解を出力することことを特徴とする請求項17に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項19】 感光基板の複数のチップ領域を露光するに際し、複数のチップ領域を処理する訪問順序を管理する移動シーケンスの決定方法において、前記複数のチップ領域に対して、前記チップ領域の訪問順序の移動シーケンスの中から、前記チップ領域を露光するための一連の処理の総所要時間が短いという意味で優良または最適な移動シーケンスの解を求めるために線形計画法、動的計画法及び進化的計算法の少なくとも一つを用いることを特徴とする移動シーケンスの決定方法。

【請求項20】 前記感光基板に関する情報には、前記チップ領域の大きさ及び感光基板の大きさを含むことを特徴とする請求項18に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項21】 前記総所要時間は、前記感光基板を載置するステージの整定時間、速度及び加速度に基いて定められることを特徴とする請求項18に記載の移動シーケンスの決定方法。

【請求項22】 複数の処理領域を所定の走査方向から処理する移動シーケンスを有する装置において、

4

前記複数の処理領域に対して、前記処理領域の訪問順序と各処理領域の前記処理領域の走査方向との組み合わせの自由度を持つ移動シーケンスの中から、前記処理領域を処理するための一連の処理の総所要時間が短いという意味で優良または最適な移動シーケンスの解を求める演算回路を備えることを特徴とする移動シーケンスを有する装置。

【請求項23】 前記装置は、ウエハ上の複数のチップ領域を所定の走査方向から露光する移動シーケンスを有するスキャン型露光装置であり、前記演算回路は、オペレーションズ・リサーチ的な手法及び進化的計算法の少なくとも一つを有することを特徴とする請求項22に記載の移動シーケンスを有するスキャン型露光装置。

【請求項24】 前記オペレーションズ・リサーチ的な手法には、線形計画法、Lin&Kernighan の解法もしくはk-OPT法、又はこれらの組み合わせ方法を含み、これらの手法で得られた解を遺伝的アルゴリズムの初期解として使用することを特徴とする請求項23に記載の移動シーケンスを有するスキャン型露光装置。

【請求項25】 前記複数のチップ領域のうち前記ウエハの縁に形成されたチップ領域に前記走査方向に前記ウエハの内側から外側への走査方向の制約を与え、かかる制約を満たす範囲において前記移動シーケンスの優良解または最適解を探索することを特徴とする請求項23に記載の移動シーケンスを有するスキャン型露光装置。

【請求項26】 前記装置は、パレット上の複数のプレバートを所定の走査方向から検査する移動シーケンスを有する検査装置であり、前記演算回路は、オペレーションズ・リサーチ的な手法及び進化的計算法の少なくとも一つを有することを特徴とする請求項22に記載の移動シーケンスを有する検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一括露光方式の露光装置（ステップ・アンド・リピート型ステッパー）におけるウエハステージの移動、レチクル走査式の露光を行う露光装置（ステップ・アンド・スキャン型ステッパー）におけるウエハステージとレチクルステージとの移動制御、およびセンサー走査式の検査を行うウエハ検査装置におけるウエハステージとセンサーステージとの移動制御に関するものである。特にこれら装置における一連の露光処理または一連の検査処理に伴うステージ移動の総所要時間を最短化する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】ウエハに複数の処理又は検査を露光又は検査する場合には、できるだけ生産効率又は検査効率を向上させる目的で、露光又は検査の対象となるチップ領域の変更に伴うステージの移動について、ウエハ上のすべてのチップ領域を通じてステージの移動に要する総所

5

要時間を可能な限り短くする必要がある。そのためには、 n 個 ($n > 1$) のチップ領域を露光または検査する順序を前記総所要時間が最短になるように最適化する必要がある。例えば一括露光型のステッパーにおいて、露光対象となるウエハ上に n 個のチップ領域がある場合、考えられる露光チップ領域間移動のためのステージ移動の場合の数は (ステージの移動方向が+方向と-方向で所要時間が変わるとしても) 高々 $nP_2 = n(n-1)$ であり高速に計算可能なので、露光又は検査順序が決まれば前記総所要時間は一意に求まる。

【0003】しかし、 n 個のチップ領域を露光または検査する順序は $n!$ 通り存在するため、考えられるすべての順序について生成検査法を用いて可能な全ての解を計算することは計算時間が掛かりすぎ、特に $n > 13$ の場合では事実上不可能である (“実践講座：巡回セールスマン問題への招待 I, II, III”, オペレーションズ・リサーチ39 (1994) No. 1:pp25-31, No. 2:pp91-96, No. 3:pp156-162)。さらに、スキャン露光型ステッパーに代表されるような走査型露光又は走査型検査を行う装置においては、各ショット領域における露光又は検査の際に、レチクル (又はセンサ) ステージとウエハステージを同期制御する必要があり、その走査方向にも自由度があるため、全てのショット領域の露光順序および各ショット領域の走査方向を同時に最適化しなければならない。

【0004】このような移動シーケンスの場合の数は、 n 個のそれぞれのショット領域における走査方向の組み合わせの数 (操作方向の自由度が m なら m^n) と n 個のチップ領域を露光 (または検査) する順列の数 ($n!$) の積、すなわち $m^n \times n!$ あり、一括露光型ステッパーの場合よりも最適解を求めることが困難である。従来これらの装置は、現実的な計算時間内に複数チップを露光する時間を短くするために、予め想定した特定の条件下で露光シーケンス所要時間が最短になるようなウエハステージおよびレチクルステージの最適な同時制御シーケンスを予め設定し、実際の運用において前記想定した特定の条件に適合しない場合には、前記最適な同時移動シーケンスのうち適合しない箇所だけを適合するように変更して対処しており、現実の運用条件において最適な前記移動シーケンスを計算し直すことをしない。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

(課題1) 順列最適化問題の最適解または最適解の近似解を短い計算時間で得るという課題。

上記の如き問題においては、考えられるチップ領域を露光又は検査する順序を生成・検査し、最も所要時間の短いものを解として見つけるのが理想である。しかし、 n 個のチップ領域を有するウエハをどのような順序で露光・検査していくか検討すると、一括露光方式のステッパーでさえ、ウエハに n 個のチップ領域を露光又は検査す

6

る順序だけでも $n!$ 個の経路について調べなければならない、特に $n > 13$ になると現実的に解を得ることが不可能なほど、莫大な計算時間がかかるという問題点がある。したがってスループット向上のためには、露光順序についての最適解または最適解の近似解を効率的に生成するアルゴリズムの開発と適用が課題となる。

【0006】(課題2) 順列最適化問題と組合わせ最適化問題の複合問題の最適解または最適解の近似解を短い計算時間で得るという課題。

10 スキャン露光型ステッパーに代表されるような走査型露光又は走査型検査を行う装置では、チップ領域を露光又は検査する順序、および、各々のチップ領域におけるスキャン (走査) 方向に自由度があり、これらを同時に最適化することを検討しなければならない。別言すれば、チップ領域の露光の経路の最適化とスキャン方向の最適化とはお互いに相関関係にあり、チップ領域の最適解が求まった後スキャン方向の最適化を行えばよいというものでなく、逆にスキャン方向の最適解が求まった後チップ領域の最適化を行えばよいというものでない。この場合、 n 個のチップ領域におけるスキャン (走査) 方向の場合の数はスキャン方向の自由度: m (スキャン露光型ステッパーでは $m=2$) の n 乗であることから、ウエハステージの移動とレチクル又はセンサステージの (走査方向の) 移動の両方を考慮した2つのステージの移動シーケンスについて、起こりうる場合の数は $n! \times m^n$ となる。このため、全ての可能性を生成検査することは実現不可能であり、スループット向上のためには、上記スキャン露光シーケンスについての最適解または最適解の近似解を効率的に生成するアルゴリズムの開発と適用が課題となる。

【0007】(課題3) ユーザが任意に指定した制約を充足する範囲において、上記課題1または課題2を解決するという課題。

ユーザが任意に指定した (複数の) 特定のショット領域については露光しないとか、ユーザが任意に指定した

(複数の) 特定のショット領域におけるスキャン方向についてはユーザの指定に従うなど、様々な任意の制約があるような条件下においても上記課題1または課題2を解決しなければならない。しかし従来において、このような制約が与えられた場合には、前項で述べたように、予め特定の条件下で得た露光シーケンスの解に部分的な手直しを加えることで、実用の場で与えられた任意の制約を満たすような訂正解を生成しているため、このような訂正解が、上記任意の制約条件下で最適または良質であることは保証していない。したがってスループット向上のためには、任意の制約が与えられた場合においても、その制約を満たす制約充足解 (可能基底解) の中から、課題1および課題2記載の最適解または最適解の近似解を効率的に生成するアルゴリズムの開発と適用が課題となる。

7

【0008】(課題4) 最適解または最適解の近似解を生成するための計算許容時間と、生成された解の質のトレードオフを考慮するという課題。

このため従来は、スキャン露光型ステッパーに代表されるような走査型露光又は走査型検査を行う装置のチップ領域の露光シーケンスに対して、計算が膨大になるということで短時間内に近似解を見つけることのみを目的としていた。

【0009】チップ領域の露光シーケンスの最適解を求める計算は、露光パターンが異なるレチクルが交換される際、または露光パターンが同一であっても個々のウェハ毎に露光不要箇所がそれぞれ任意に指定されている等の理由からウェハが交換される際などに行われるため、計算許容時間は様々である。例えばレチクルを載せかえて且つレチクルをアライメントする時間(レチクル・ローディング時間)は例えば20秒前後であるが、ウェハを乗せ換えて且つウェハをアライメントする時間(ウェハ・ローディング時間)は例えば10秒前後である。さらに、アライメント中に計算機の負荷が高ければ、チップ領域の露光シーケンスの最適解を求める計算はウェハを乗せ換える時間(例えば1秒前後)内に行わなければならない。

【0010】そこで、本発明はウェハ等を露光/検査する際、チップ領域の露光シーケンスを短縮する最適解の近似解を最初に極めて短い計算時間で求め、引き続き、計算時間に余裕がある限り、チップ領域の露光シーケンスがより短くなるような解を枚挙して、最終的には(十分な計算許容時間が与えられた場合には)最適解を生成する方法を提供する。このことで、活用できる計算資源の状況に応じて、与えられた計算許容時間に見合う質(計算許容時間が長いほど優良)の解を提供することが可能になる。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するために本発明では、ウェハ面に沿う特定方向(有限個の方向から選択された1つの方向)の走査を伴って露光処理又は検査処理する制約を有しているウェハ面上の複数のチップ領域に対し、すべてのチップ領域を露光処理又は検査処理する順序、および各々のチップ領域における(露光処理又は検査処理に伴う)走査方向の特定 10 15 20 25 30 35 40 45 50

8

めに、優良解または最適解の探索手法として遺伝的アルゴリズム(進化的計算法)を用いることで、前記優良または最適な移動シーケンスを解として求めることを特徴とする移動シーケンスの決定方法を提供する。

【0012】また、本発明では、ウェハ面に沿う特定方向(有限個の方向から選択された1つの方向)の走査を伴って露光処理又は検査処理する制約を有しているウェハ面上の複数のチップ領域に対し、すべてのチップ領域を露光処理又は検査処理する順序、および各々のチップ領域における(露光処理又は検査処理に伴う)走査方向の特定 10 15 20 25 30 35 40 45 50

【0013】さらに、本発明では、ウェハ面に沿う特定方向(有限個の方向から選択された1つの方向)の走査を伴って露光処理又は検査処理する制約を有しているウェハ面上の複数のチップ領域に対し、すべてのチップ領域を露光処理又は検査処理する順序、および各々のチップ領域における(露光処理又は検査処理に伴う)走査方向の特定 10 15 20 25 30 35 40 45 50

9

走査方向をすべてのチップ領域に対して特定するための「チップ領域と走査方向の組み合わせ」の両方の自由度を持つ、実現可能な数多くの移動シーケンスが考えられるが、その中から、すべてのチップ領域を露光処理または検査処理するための一連の処理の総所要時間が短いという意味で優良または最適な（一連の）移動シーケンスの解を求めるために、優良解または最適解の探索手法として、線形計画法又は Lin&Kernighan の解法又は k-OPT 法又はこれらの方法の組み合わせで得られた解法を使用することを特徴とする移動シーケンスの決定方法を提供する。

【0014】本願発明は、進化的計算法（遺伝的アルゴリズム）を用いて、アルゴリズム中で順次改善され更新されてゆく最良解を枚举・出力するようにした。更に、複数の処理領域（ n 個の領域）に対して、すべての処理領域を処理するための処理領域訪問順序（ $n!$ ）および各々の処理領域における走査方向（ m ）の組み合わせ（ m_n ）の移動シーケンスの中から、すべての処理領域を処理するための最適な移動シーケンスの解を求めるために、最適解の探索手法として遺伝的アルゴリズムを用いる。また、遺伝的アルゴリズムの遺伝子に、レチクル（またはセンサ）スキャン（走査）方向、および対象物の露光（検査）順序を同時に記憶させることにより、レチクル（またはセンサ）の走査方向に依存する対象物の位置（露光または検査の開始／終了点）の変更も考慮した最適解を生成でき、対象物（チップ領域）側とレチクル（センサ）側の2つの移動ステージの同期を考慮した最適解および近似解を生成できるものとした。遺伝的アルゴリズムは、例えば、すべての都市を1解ずつ訪問する際に、どのようにしたら最短経路になるかを見つけるケースの解法として使われるが、ステッパ等のチップ領域の露光（検査）経路の最適化のために使用された例はない。

【0015】

【作用】本発明に於いては、遺伝的アルゴリズムの原理、すなわち（1）交叉オペレータと突然変異オペレータの組み合わせによる、問題空間の局所的探索と大域的探索の同時進行、（2）一連の遺伝的オペレータの操作を一世代とし、各世代の最良遺伝子を含む有限個の遺伝子を対象に、繰返し一連の操作を行う世代交代、の2つの特徴から、近似最適解を順次枚举し、最終的には最適解を提示する原理を採用しているため、所要計算時間の多少に応じた近似解または最適解を効率良く生成できる。

【0016】また、レチクル（またはセンサ）走査型の位置決め装置への適用を鑑み、遺伝的アルゴリズムの遺伝子には、レチクル（またはセンサ）スキャン方向、および対象物の露光（検査）順序を同時に記憶させることにより、レチクル（またはセンサ）の走査方向に依存する対象物の位置（露光または検査の開始／終了点）の変

10

更も考慮した最適解を生成でき、対象物側とレチクル（センサ）側の2つの移動ステージの同期を考慮した最適解および近似解を効率良く生成できる。

【0017】さらに、遺伝子が記憶する情報は、露光または検査の対象とするチップ領域数に応じた長さであるため、露光（または検査）不要領域が任意に指定された場合には、遺伝子が記憶する情報を変えるだけで済み、遺伝的オペレータや世代交代などのアルゴリズムはそのまま利用可能であるし、各チップ領域のスキャン方向に制約がある場合には、世代交代の際に制約を満たさない情報を持つ遺伝子を消去することで、制約充足解の中から最適解を探索することが可能である。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例につき図面を参照して説明する。本実施例はスキャン型の投影露光装置で、最適な露光シーケンス（順序）を求めるものである。

<<投影露光装置の構成の概略>>図1は、スキャン型の投影露光装置を示し、この図1において、レチクルRは光源1と、照明光整形光学系2からリレーレンズ8よりなる照明光学系とにより長方形のスリット状の照明領域21により均一な照度で照明され、スリット状の照明領域21内のレチクルRの回路パターン像が投影光学系13を介してウエハW上に転写される。光源1としては、ArFエキシマレーザ若しくはKrFエキシマレーザ等のエキシマレーザ光源、又は水銀ランプと楕円反射鏡とを組み合わせた構成等の光源が使用できる。

【0019】光源1からの照明光は、照明光整形光学系2により光束径が所定の大きさに設定されてフライアイレンズ3に達する。フライアイレンズ3の射出面には多数の2次光源が形成され、これら2次光源からの照明光は、コンデンサーレンズ4によって集光され、固定の視野絞り5を経て可動ブラインド（可変視野絞り）7に達する。図1では視野絞り5は可動ブラインド7よりもコンデンサーレンズ5側に配置されているが、その逆のリレーレンズ系8側へ配置しても構わない。

【0020】視野絞り5には、長方形のスリット状の開口部が形成され、この視野絞り5を通過した光束は、長方形のスリット状の断面を有する光束となり、リレーレンズ系8に入射する。リレーレンズ系8は可動ブラインド7とレチクルRのパターン形成面とを共役にするレンズ系であり、可動ブラインド7はステージのスキャン（走査）方向（Y方向）の幅を規定する2枚の羽根（遮光板）7A、7B及びスキャン方向に垂直な方向の幅を規定する2枚の羽根（不図示）より構成されている。スキャン方向の幅を規定する羽根7A及び7Bはそれぞれ駆動部6A及び6Bにより独立にスキャン方向に移動できるように支持されている。本実施例では、固定の視野絞り5により設定されるレチクルR上のスリット状の照明領域21内において、更に可動ブラインド7により設

11

定される所望の露光領域内のみ照明光が照射される。リレーレンズ系8は両側テレセントリックな光学系であり、レチクルR上のスリット状の照明領域21ではテレセントリック性が維持されている。

【0021】本例のレチクルRはレチクルステージ9上に載置されており、そのレチクルR上のスリット状の照明領域21内で且つ可動ブラインド7により規定された回路パターン13の像が、投影光学系13を介してウエハW上に投影露光される。スリット状の照明領域21と共役なウエハW上の領域をスリット状の露光領域22とする。また、投影光学系13の光軸に垂直な2次元平面内

で、スリット状の照明領域21に対するレチクルRのスキャン方向を+Y方向（又は-Y方向）として、投影光学系13の光軸方向をZ方向とする。

【0022】この場合、レチクルステージ9はレチクルステージ駆動部10に駆動されてレチクルRをスキャン方向（+Y方向又は-Y方向）に走査し、可動ブラインド7の駆動部6A、6Bの動作は可動ブラインド制御部11により制御される。レチクルステージ駆動部10及び可動ブラインド制御部11の動作を制御するのが、装置全体の動作を制御する主制御系12である。一方、ウエハWはウエハステージ14に載置され、ウエハステージ14は、投影光学系13の光軸に垂直な面内でウエハWの位置決めを行うと共にウエハWを±Y方向に走査するXYステージ、及びZ方向にウエハWの位置決めを行うZステージ等より構成されている。主制御系12は、ウエハステージ駆動部15を介してウエハステージ14の位置決め動作及び走査動作を制御する。

【0023】そして、図2に示すように、レチクルR上のパターン像をスキャン露光方式で投影光学系13を介してウエハW上の各チップ領域に露光する際には、図1の視野絞り5により設定されるスリット状の照明領域21に対して-Y方向（又は+Y方向）に、レチクルRを速度 V_R で走査する。また、投影光学系13の投影倍率を β として、レチクルRの走査と同期して、スリット状の露光領域22に対して+Y方向（又は-Y方向）に、ウエハWを速度 $V_W (= \beta \cdot V_R)$ で走査する。これにより、ウエハW上のチップ（又はショットとも呼ぶ）領域SAにレチクルRの回路パターン像が逐次転写される。

【0024】また、本実施例では、図1の可動ブラインド7の羽根7A及び7Bを駆動することにより、それぞれ図2の照明領域21のスキャン方向の一方のエッジ部21a及び他方のエッジ部21bをスキャン方向に移動できるようになっている。但し、図1には固定の視野絞り5が設けられているため、可動ブラインド7を全開した場合でも、照明領域21のスキャン方向の幅はDであり、可動ブラインド7は照明領域21の幅をDより狭くする場合に使用される。更に、通常の露光時には照明領域21の幅はDに設定され、可動ブラインド7が使用されるのは、露光の開始時及び終了時である。

12

【0025】さて、本実施例では図2に示すように、レチクルRの遮光帯STに囲まれたパターン領域に回路パターンが描画されている。レチクルRのパターン領域、チップ領域の個数、大きさ、ウエハWの大きさ等は、図1のキーボード等の入力部16を介してメモリ17に入力され、主制御系12はチップ領域の露光シーケンスを決定する前にメモリ17からそのレチクルRに関するパターン情報を読みだす。レチクル・ローディングが行われる際には、新たなレチクルRの時間がパターン領域、チップ領域の個数などがメモリ17に記憶されているので、主制御系12は、レチクル・ローディングが終了するまでにそのレチクルにあった最適な露光シーケンスを決定する。

【0026】ウエハW上のチップ領域のアライメントについては、不図示のウエハアライメント系によりウエハW上の各チップ領域に付設されたアライメントマークの内の所定のマークの位置を検出し、この検出結果から演算により求めることができる（例えば特開昭61-4429号公報参照）。

<<レチクルおよびウエハの基本動作>>次に、本実施例においてスキャン型の露光方式で露光を行う際の動作の一例につき説明する。

【0027】まず、レチクルR側の動作につき図3を参照して説明する。ウエハW上のチップ領域に露光を行う際、経験的にレチクルRは往復運動を行う。なぜならレチクルR側で無駄な動きがなくなるからである。しかし、スキャン露光の開始位置がウエハWの縁から始まる場合には、チップ領域に至るまでにオートフォーカス（投影光学系の結像面とチップ領域の面とを合わせる行為）ができなくなることがある。そのためレチクルRを往復運動させない経路をとる場合もある。後述する図6で説明する。

【0028】図3は、往復運動する際のレチクルRの走査速度 V_R の変化を示し、この図3において、まず期間 T_1 でレチクルRの加速が始まり、所定の整定期間 T_{se} の後のレチクルRの走査速度 V_R が安定している期間 T_2 に露光が行われる。その後、期間 T_3 内でレチクルRの減速が行われ、レチクルRが停止した直後の基板 T_4 にレチクルRの逆方向への加速が始まる。それに続く整定期間 T_{se} の後の、レチクルRの速度 V_R が安定している期間 T_5 に露光が行われる。その後、期間 T_6 にレチクルRの減速が行われ、以後はこの動作が繰り返される。

【0029】また、レチクルRの加速期間 T_1 及び T_4 の後半ではウエハW側でも加速が行われ、レチクルRの減速期間 T_3 及び T_6 の後半からそれぞれ加速期間 T_1 及び T_4 の前半までは、ウエハステージ14のステッピング移動により、ウエハWの次のチップ領域が走査露光の加速開始位置（走査開始位置）に設定される。もちろんレチクルRが往復運動しない場合には、レチクルRの移動方向に合わせて逆方向に移動する。

13

【0030】<<チップ領域の露光シーケンスの最適化>>

<最適化のための前提条件>チップ露光の経路（順序）は主制御系12で演算されるが、その演算に必要な前提条件について説明する。図4～図6は、本発明の本実施例の効果を従来のものと比較するため、チップ（ショット）領域の露光シーケンスを求めるに必要な前提条件を説明したものである。もちろん、これは一例であって、チップ領域の大きさ、チップ個数などの条件は自由に変更することは可能である。図4は、ウエハステージ14の初期点および最終点などを表す。

【0031】レチクルステージの前（fore）から後（back）、または後（back）から前（fore）、までの移動時間は、図3で示されるように計算される。例えば、図4の場合のレチクルステージの前（fore）から後（back）、または後（back）から前（fore）の移動時間は、各々約0.5秒となる。ステージ移動の加速度及び最高速度は、YステージとXステージの重量差、機構などによってX方向に移動する時間とY方向に移動する時間とが異なるため、図4のようになる。

【0032】「レチクルおよびウエハの基本動作」の欄および図3で説明したように、ウエハステージ14が所定のスピードになるまでには所定の距離が必要となる。この距離（移動量）を含めた距離を前方オフセットという。後進チップ用の前方オフセットとは、ウエハステージ14がY方向に移動するときに必要な助走距離とチップ領域の中心からチップ領域の先端部までの距離とを含む距離を意味する。前進チップ用の後方オフセットとは、チップ領域の中心からチップ領域の先端部までの距離とウエハステージ14がY方向に移動するときに必要な停止距離とを含む距離を意味する。前進チップ用の後方オフセットとは、チップ領域の中心からチップ領域の先端部までの距離とウエハステージ14がY方向に移動するときに必要な停止距離とを含む距離を意味する。

【0033】例えば、それぞれのチップ領域のスクアン露光毎において、ウエハステージ14の移動ならびにレチクルステージ9の露光に伴うY方向の移動が完結した直後にウエハステージ14が一時停止するようなシステムの場合を考えると、前進・後進チップ用の前方オフセットは前記レチクルステージ9の加速期間ならびに整定期間、そしてチップの中心点までの露光するまでの期間においてウエハステージ14が移動する距離となる。前進・後進チップ用の後方オフセットは、チップの中心点から露光終了までの期間、ならびにレチクルステージ9の減速し静止する期間において、ウエハステージ14が移動する距離となる。図4の場合のオフセットを計算すると、前進・後進チップ用の前方オフセットは各々約38mmであり、前進・後進チップ用の後方オフセットは各々約35mmとなる。この場合は、単位移動シーケンス所要時間は、1回のスクアン露光終了後におけるオフ

14

セット分の位置への移動が完了した時点から、次のチップ領域でのスクアン露光開始直前におけるオフセット分の位置への移動が完了するまでの所要時間とすれば良い。

【0034】図5は、ウェハ上の座標系における記号A～Zで記された26個の各チップ領域の中心座標（X、Y：単位mm）および各チップ領域のスクアン方向の制約を表したものである。各チップ領域の大きさは25mm（X方向）×33mm（Y方向）である。また、各チップ領域A～Zの中心間距離は、X方向に25mm、Y方向に33mmである。またスクアン方向には、前（fore）、後（back）又は制約がない（any）の三種類ある。このように各チップ領域のスクアン方向に制約があることを図6で説明する。

【0035】図6は、図5で規定された位置にチップ領域A～Zを配置した図であり、チップ領域A～Zに記された矢印は、スクアン方向に矢印方向の制約があることを意味する。矢印がないのはスクアン方向に制約がない（any）ことを意味する。チップ領域A、D、E及びJはスクアン方向が後（back）となっている。これはスクアン露光の開始位置が前（fore）から始まるとウエハWの縁にオートフォーカスセンサ（不図示）の検出点がかかってしまうからである。するとウエハWの厚さ分だけずれた位置にフォーカスしてしまうので、これを防ぐためにスクアン方向を制限しているのである。チップ領域Q、V、W及びZはスクアン方向が前（fore）であるのもこの理由である。なお、レチクルRのスクアン方向の制約はチップ領域のスクアン方向の逆である。また、露光の開始においては、投影光学系13の光軸が初期点ST（X=50、Y=50）にあるようにウエハステージ14を移動し、露光の終了においては投影光学系13の光軸が最終点EN（X=30、Y=300）にあるようにウエハステージ14を移動する。

【0036】<各々の単位移動シーケンスに対する最短移動時間テーブルの作成>スクアン露光中はウエハステージもレチクルステージも互いに同期した所定の動作を行うことから、スクアン露光中の露光シーケンス総所要時間は本発明における最適化の対象ではなく、スクアン露光中以外の全ての移動シーケンスから無駄時間を最大限に排除することが対象である。そこで初めに、任意の単位移動シーケンスについての移動所要時間を考える。すなわち、任意のチップ領域を任意のスクアン方向で露光し終わった時点（単位移動シーケンス開始点）から、別の任意のチップ領域を任意のスクアン方向で露光し始める時点（単位移動シーケンス終了点）までの時間を考える。任意の単位移動シーケンスの場合の数は、チップ領域がn個であり全てのチップ領域のスクアン方向に制約が無い場合でも、 $2n \times 2 \times (n-1)$ 通り（一連の露光シーケンスの前後のウエハステージおよびレチクルステージの位置が指定されている場合であっても、高々

15

$2n \times 2 \times (n+1)$ 通り)である。上記前提条件から、それぞれの単位移動シーケンスに対する最短移動時間は容易に一意に求まるので、これらを最初に計算する。そしてこれらの計算結果を、単位移動シーケンス開始点と単位移動シーケンス終了点を個別の軸に持つ2次元のテーブル(移動時間管理テーブル)に最初に記憶させる。

【0037】図7には、上記移動時間管理テーブルが示されている。この移動時間管理テーブルにおいて、例えばA(+)はウエハ上のチップ領域Aにおいて+ (forward) 10 方向へ走査が終了した位置を示し、A(-)はウエハ上のチップ領域Aにおいて- (backward) 方向へ走査が終了した位置を示している。したがって、例えば、図7のテーブル中におけるF1で示された数値(単位は秒)は、チップ領域Bにおいて(+)方向の走査が終了した位置からチップ領域Aにおいて(-)方向の走査が終了した位置まで、ウエハステージ14を移動させるのに0.159665秒要することを示している。

【0038】なお、図7のテーブル中に示される“X”は、各要素(走査開始位置及び走査終了位置)間で移動が 20 あり得ない組合わせを示している。例えば、チップ領域Bにおいて(+)方向の走査が終了した位置からチップ領域Aにおいて(-)方向の走査を開始する位置への移動はできない。また、チップ領域Aでは(-)方向の走査しか許されないため、要素A(+)へ移動する組合わせはすべて“X”で示されている。

【0039】さらに、図7のテーブル中のSTARTは移動シーケンスの初期点であり、ENDは移動シーケンスの終点である。START(+)は移動シーケンスの初期点においてレチクルRが+側(-)方向に走査される場合のレチクルRの移動開始位置)にあることを示し、START(-)は移動シーケンスの初期点においてレチクルRが-側(+)方向に走査される場合のレチクルRの移動開始位置)にあることを示す。一方、END(+)はレチクルRが(+)方向に走査された場合の終了位置(-側)に移動シーケンスの終了点があることを示し、END(-)はレチクルRが(-)方向に走査された場合の終了位置(+側)に移動シーケンスの終了点があることを示す。

【0040】なお、作成されたテーブルは図1の主制御系12におけるメモリ17に格納される。ここまでの工程が完了すれば、あとは単位移動シーケンス(求める移動シーケンスの構成要素であって、ある時点において処理されるべきチップ領域から次に処理されるべきチップ領域までのシーケンスに相当する)の中から、どの単位移動シーケンスを、どのような順序で用いるかを(最終的な露光シーケンスが最短になるという意味で)最適化することで、最適な露光シーケンスが定まる。どの単位移動シーケンスを用いるかを選択しなければならないのは、同一のチップ領域を逆方向に走査露光すること避けるためである。したがって、それぞれのチップ領域の露 50

16

光順序と、各チップ領域における走査方向さえ定めれば、上記テーブルから移動シーケンス全体の所要時間が得られる。逆に、移動シーケンス全体の所要時間が最短となるような、それぞれのチップ領域の露光順序及び各チップ領域における走査方向を決定することが、この発明の目的とする移動シーケンスの最適化と同じことになる。

【0041】<遺伝的アルゴリズム>本発明では進化的計算方法の代表である遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm. 以下、GAと呼ぶ) を使ってチップ領域の露光シーケンスの最適解(最短時間の露光シーケンス)を自動的に求めていく。この遺伝的アルゴリズムを図8および図9に示す。遺伝的アルゴリズムという名前は、以下説明するように個々の操作を遺伝子に喩えることができるために名付けられたものである。

【0042】遺伝的アルゴリズムは初期解は任意である。従って、他の探索手法との組合せも容易であり、他の探索手法の良い点だけを遺伝的オペレータに組み込むことも容易である。それだけに設計の自由度が大きく効率の良い解法を得るには、地道な問題の解析とプログラマーの進化的計算に対する経験を要する。遺伝的アルゴリズムには、大きく分けて、交叉(cross over)に主眼を置く組合せ最適化手法としてのGA (Genetic Algorithm) と、突然変異 (mutation) に主眼を置く連続値最適化手法としてのES (Evolutional Strategy) と、そしてこれらの区別とは別個に、プログラムのソースや処理手順などを対象とするGP (Genetic Programming) があるが、アルゴリズムの本質はどれも同じである。

【0043】GAでは、複数個(N個)の「遺伝子」と呼ばれるエージェントで集団探索が行われるため、集団の一部が局所最適解に陥っても、他の遺伝子がより良質な解を発見すると、そちらに導かれるような性質を持つ。多点探索ゆえ多少時間はかかるが、最適解を効率良く探索できる。N個の遺伝子からなる遺伝子集団の中から複数のペア(親)が選ばれ、それぞれの遺伝子ペアPは自分に似た子供Cを生む。更に一部の子供Cは遺伝子の一部に突然変異を起こす。そしてこれらの中から、評価の高い遺伝子を有す子孫ほど、高い確率で次の世代に生き残るようにする。集団サイズは、特殊な場合を除き、通常は各世代を通じてN個で固定されるため、評価の低い遺伝子を有する子孫は次第に死滅してゆく。このような世代交替の繰り返しにより、いずれ最適解を持つ複数個(N個)の遺伝子が集団の中に現われてゆく。

【0044】本実施例では、GAによる解法で有名なサブツアー交換交叉 (Sub-tourExchange Crossover: SXX) を用いてチップ領域の露光シーケンスの改善を担当させる。その一方で、それぞれのチップ領域のスキャン方向については、スキャン方向に制約のないチップ領域のスキャン方向を突然変異により反転させることを考える。このように、スキャン露光型ステッパーにおける露光シ

17

一ケンス最適化問題をGAにより定式化する。なお、GAに用いる世代交替モデルとしては、独身者がいないように全ての遺伝子をペアにし、作られた子供と併せて、それぞれの家族から最良の2遺伝子を次の世代に残すMGG (Minimum Generation Gap) モデル (H. Satoh, M. Yamamura & S. Kobayashi, Minimum Generation Gap Model for GAs Considering Both Exploration and Exploitation, Proceedings of IIZUKA '96, pp. 494-497)、全ての親と子供の中から良い者を優先的に生き残らせるElitist (D. E. Goldberg, Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1989) モデルなどがある。

【0045】多少計算時間が掛かっても良いから最終的に真の最適解を得たい場合にはMGGモデルを使い、計算過程の早期に優良解が発見できるなら真の最適解を得るのにMGG以上の計算時間が掛かっても良いなら Elitistモデルを使うなど、計算時間と解の質とのトレードオフをどう考慮するかで使い分けることが可能である。本実施例では、そのような使い分けの一例として Elitistモデルによる実施例を挙げる。

【0046】図8および図9のアルゴリズムを詳述する前に、アルゴリズムの中に示される各オペレータについて先に説明する。図10～図12に示すP1、P2、C1、C2等は、チップ領域の露光順序とそれぞれのチップ領域の露光に伴うスキャン方向を、遺伝子に模倣したものであり、それぞれの遺伝子はメモリ17に格納される。1つの四角で囲まれる部分を1回の露光の位置とスキャン方向とを1つのユニットとしている。1つの遺伝子は、n箇所の露光位置に対応するn個のユニットの羅列で表わされている。本実施例ではチップ領域A～Zまでであるので1遺伝子が26ユニットで構成されていると考える。なお、説明を簡単にするためにチップ領域A～Zまでの26チップ領域でなく、図10～図12ではチップ領域A～Fまでの8チップ領域の露光を使って、つまり8チップ領域を1つの遺伝子として各オペレータについて説明する。

【0047】図10は、遺伝的オペレータの1つであるサブツアー交換交叉 (Sub-tour Exchange Crossover) の交叉 (Crossover) オペレータを説明したものである。交叉オペレータとは2つの親から両方の特性を有する子を2つ以上生じさせる概念である。複数個の遺伝子の中から、任意に選んだ1対の遺伝子P1およびP2に対し、サブツアー交換交叉オペレータを実施する。このとき、遺伝子P1およびP2のうち、チップ領域の情報だけを参照し、露光順序に関係なく部分的なチップ領域の集合が同一である箇所を探す。この場合各チップ領域のスキャン方向を考慮する必要はない。遺伝子P1の第3ユニットから第6ユニットまでは、チップ領域C、D、E及びFの集合である。遺伝子P2の第4ユニットから第7ユニットまでも、チップ領域C、D、E及びFの集

18

合である。遺伝子P1のチップ領域Fと遺伝子P2のチップ領域Fとは、スキャン方向が反対であるが問題にしない。

【0048】これら同一部分 (Sub-tour) を遺伝子P1と遺伝子P2とで交換 (Exchange) させる。つまり、C1およびC2という遺伝子が新たに生成される。本実施例ではさらに、遺伝子C1およびC2において交換された部分情報を順序逆転 (inversion) にした遺伝子C3およびC4を生成する。すなわち、2つの親から4つ子を生じさせている。

【0049】図11は、遺伝的オペレータの1つである突然変異 (Mutation) オペレータを説明するものである。突然変異オペレータとは親の有していない特性をその特性を有している子を生じさせる概念である。図11では、特に対象物の移動順序の改善 (チップ領域の露光順序: Cyclic Shift) に対する突然変異 (Mutation) オペレータを説明したものである。突然変異 (Mutation) オペレータは、複数個の遺伝子の中から、任意に選んだ1対の遺伝子P1およびP2に対し、突然変異オペレータを行う。

【0050】この突然変異オペレータは、まず、遺伝子P1およびP2のうち露光位置の情報だけを参照し、順序に関係なく部分的な露光位置の集合が同一である箇所を探す。図11では、遺伝子P1の第2ユニットから第5ユニットまでがチップ領域B、C、D及びEの集合であり、遺伝子P2の第4ユニットから第7ユニットまでがチップ領域B、C、D及びEの集合であり、両者が同一である。

【0051】そのような部分列が遺伝子P1およびP2に現われたユニット差をシフト数とする。図11では遺伝子P1が第2ユニットから始まり、遺伝子P2が第4ユニットから始まるのであるから、2ユニット分の差があるので2シフト数とする。そして、このシフト数に相当する分だけ、部分的な露光位置の集合内に現われたユニットの順を循環させるように入れ替えた遺伝子C1およびC2を生成する。つまり遺伝子C1は、遺伝子P1のBCDEという集合部分が、1シフトしてCDEBとなり、もう1シフトしてDEBCとなることを意味する。遺伝子C2も同様である。

【0052】次に図12を使って、対象物への露光スキャン (走査) 方向の改善に貢献する突然変異オペレータ: Direction Flip (露光スキャン方向の反転) を説明する。このオペレータは、スキャン方向を探索する目的で、対象とする遺伝子の特定のチップ領域に対してスキャン方向を反転させるものである。遺伝的アルゴリズムによる探索速度を向上させるには遺伝子集団サイズが小さいほうが良いが、そのぶん探索の「取りこぼし」が懸念される。これを回避するためには、遺伝子集団内の情報の多様性を維持することが交叉オペレータによる探索にとっては重要である。交叉オペレータは、遺伝子が既に

19

持っている情報しか使えないからである。スキャン方向の反転だけの効果により、反転前の遺伝子よりも良質な遺伝子が生成されることは極めて稀であると考えられるが、この反転により遺伝子集団内の情報（特定のチップ領域におけるスキャン方向）の多様性を維持することに貢献するため、遺伝子集団サイズを抑制できることから計算所要時間を短くできる。

【0053】図12(a)は、各チップ露光におけるスキャン方向に対する突然変異(Mutation)オペレータを説明したものである。複数個の遺伝子の中から任意に選んだ一つの遺伝子P1に対し、スキャン方向に制約がないチップ領域の中から任意のチップ領域、例えばチップ領域Gを選び、そのスキャン方向を反転させた遺伝子C1を生成する。

【0054】図12(b)もまた、図12(a)同様、各チップ領域におけるスキャン方向に対する突然変異オペレータだが、スキャン方向反転の対象となるチップ領域の選び方に工夫を加えたものである。この手法は、スキャン方向の多様性が失われている可能性の高いチップ領域を優先的にスキャン方向反転させて計算効率を向上させるためのものである。一回の突然変異オペレータの適用においては、複数(同図では2つ)の遺伝子をサンプリングし、それぞれの遺伝子中に有る同一のチップ領域においてスキャン方向が同じであったり偏っていれば、そのチップ領域のスキャン方向は遺伝子集団全体においても多様性が失われていると見做し、そのチップ領域のスキャン方向を積極的に反転させる。突然変異オペレータが突然変異の回数ぶんだけ適用されるたびに、このようなサンプリングを復元抽出(同じ遺伝子が何度も突然変異の対象となることがある)により行う。つまり、図12(b)に示す突然変異オペレータは、複数個の遺伝子の中から任意に選んだ一対の遺伝子P1およびP2に対し、突然変異オペレータを適用する。この突然変異オペレータは、遺伝子P1およびP2における全てのチップ領域のスキャン方向を見て、同一チップ領域が遺伝子P1においても遺伝子P2においても同方向であり且つスキャン方向に指定がないチップ領域を探す。そしてそのチップ領域でのスキャン方向を反転させた遺伝子C1又はC2あるいはその両方を生成する。図12

(b)では、遺伝子C1及び遺伝子C2の両方ともチップ領域でのスキャン方向を反転させている。

【0055】以上、各オペレータの内容を確認したので図8および図9に戻り、各オペレータを適用する手順を説明する。初めに、予め設定したN個(例えば、N=26)の遺伝子からなる遺伝子集団の遺伝子を任意に生成する(ステップ12)。この集団内のそれぞれの遺伝子は、n個(例えば、n=26)の各チップ領域を1回ずつ露光するものであり、スキャン方向に指定があるチップ領域については、そのスキャン方向の制約を満たしている解(このように制約を満たしている解を「制約充足

20

解」または「可能基底解」と呼ぶ)であれば良い。また、それぞれの遺伝子として、経験則に基づく解法、線形計画法に基づく解法(例えば最良近傍優先探索法(Nearest Neighbor Method、以下、NN法と呼ぶ。NN法の詳細は後述)など)、又は任意に生成された制約充足解を初期解としてLin&Kernighanの解法(以下、LK法と呼ぶ。LK法の詳細は後述)によって生成(更新)された解、又は線形計画法に基づく解法(例えばNN法など)によって生成された制約充足解を初期解としてLK法によって生成(更新)された解などを用いても良い。この時点で世代tはt=1であるので、1世代目の遺伝子集団をG₁と呼ぶ。この1世代目の遺伝子集団G₁の個々の遺伝子の露光にかかる所要時間をそれぞれ求めておく。例えば、第1遺伝子は25.325秒、第2遺伝子は25.396秒、……第25遺伝子は23.826秒、第26遺伝子は24.422秒などである。

【0056】一回の世代交代においては、初めに、N(=26)個の遺伝子の集団の中から、予め設定した交叉率(P_c=0.5)に従う交叉回数:N×P_c回

(26×0.5=13回)の交叉を行う。1回の交叉の対象となる1対(2個)の遺伝子は、露光にかかる所要時間の短いものを優先的に遺伝子集団の中から非復元抽出(同じ遺伝子同士を交叉させない)する。このような1対の遺伝子対の選択は、遺伝子集団の中からの復元抽出(同じ遺伝子は、別々の対としてなら、何度も選ばれても良い)により交叉回数の数だけ交叉を行なう。露光にかかる所要時間の短い遺伝子を優先的に選ぶ具体的な方法として、ステップ44で説明するルーレット選択法(Roulette Wheel Selection)を適用することができる。遺伝子集団の中から、露光にかかる所要時間の短い方から順にN×P_c×2個の遺伝子を選び、任意にN×P_c個の遺伝子対を選ぶ方法も適用可能である。

【0057】これらの遺伝子対のそれぞれに対して交叉オペレータを施し(ステップ16)、N×P_c×2個の新しい遺伝子(26×0.5×2=26個)を生成させる。このオペレータにより新生遺伝子の集団A(=N×P_c×2)ができる(ステップ18)。

【0058】次に、この新生遺伝子の中から、予め設定した「チップ領域順序シフトの突然変異」率(P_{ml}=0.2)に従うA×P_{ml}回(26×0.2=5.2回:整数になるように切り上げるので6回となる)の「チップ領域順序シフトの突然変異」を行う。1回の「チップ領域順序シフトの突然変異」の対象となる1個の遺伝子の選択は、それぞれ遺伝子集団から任意に復元抽出(同じ遺伝子が複数回突然変異対象として選ばれることもある)する(ステップ20:選択2)。選ばれた延べ6個の遺伝子に対し「チップ領域順序シフトの突然変異オペレータ」を施し(ステップ22)、新たにA×P_{ml}個の遺伝子(6個)を生成する。このオペレータにより新生遺伝子の集団B(=A×P_{ml}=N×P_c×

21

$2 \times Pm1$) ができる (ステップ24)。

【0059】ここまでに $A+B=N \times \{1+2Pc(1+Pm1)\}$ 個の遺伝子、つまりステップ18で生成された新生遺伝子集団A (26個) とステップ26で生成された新生遺伝子集団B (6個) が生成されている (ステップ26)。この新生遺伝子集団A及び新生遺伝子集団Bに対し、予め設定した「スキャン方向に対する突然変異」率 ($Pm2=0.2$) に従う $Pm2 \times N \times \{1+2Pc(1+Pm1)\}$ 回 ($32 \times 0.2=6.4$ 回、小数点以下は切り上げ) の「スキャン方向に対する突然変異」を行う。1回の「スキャン方向に対する突然変異」の対象となる1個 (図12(a)に示す突然変異を用いる場合) または1対2個 (図12(b)に示す突然変異を用いる場合) の遺伝子を任意に復元抽出する (ステップ28: 選択3)。従って、図12(b)に示す突然変異を用いるなら、この突然変異オペレータが1対2個の遺伝子を選ばなければならない理由上、1回の突然変異で用いる2個の遺伝子の選び方は非復元抽出であるが、異なる対において新たな1対2個の遺伝子を選ばない場合は復元抽出 (つまり、異なる対において、同じ遺伝子が複数回選ばれても構わない) とする。このように、図12(b)で説明した「スキャン方向に対する突然変異」オペレータを施す (ステップ30) ことで、新たに $(A+B) \times 2 \times Pm2$ 個の遺伝子 (12個) を生成する (もし、図12(a)の突然変異オペレータを用いるなら、新たに $(A+B) \times Pm2$ 個の遺伝子 (6個) を生成する)。このオペレータにより新生遺伝子の集団C (集団C中の遺伝子数は、 $(A+B) \times 2 \times Pm2 = N \times \{1+2Pc(1+Pm1)\} \times 2 \times Pm2$ 個となる。) が生成される (ステップ32)。

【0060】ここまでの過程によって、1世代目の遺伝子集団G₁ (N個=26個)、新生遺伝子集団A (26個)、新生遺伝子集団B (6個)、および新生遺伝子集団C (12個) が存在する。つまり、 $N \times \{1+2Pc(1+Pm1)\} \times (1+2Pm2)$ 個の遺伝子 (70個) が存在することになる (ステップ34)。図8に示すフローチャートを用いる場合は、ここまですべての遺伝子による新生遺伝子の増殖に対応する。図9に示すフローチャートを用いる場合は、この直後に後述のLKオペレータによる増殖が導入される。各世代の中 (すなわち図8または図9に示すフローチャート中の1回のループの中) での新生遺伝子の増殖がひととおり終了すると、そのループ中の最後において、次世代の遺伝子集団 (すなわち次のループ中の最初の遺伝子集団) として残す遺伝子を選択し、他を淘汰する処理 (ステップ44) を行う。つまり、最初の遺伝子集団G₁ に加え、遺伝的オペレータにより増殖した新生遺伝子集団A、新生遺伝子集団B、及び新生遺伝子集団C (図9に示すフローチャートでは、さらに新生遺伝子集団Dが追加される) に含まれる個々の遺伝子に対応する全ての露

22

光シーケンスについて所要時間を調べ、最良、つまりその中で最も所要時間の短い露光シーケンスとなった遺伝子を1つ出力する。このとき、異なるS個の遺伝子がどれも最良であるなら、このS個は無条件に次の世代に残すものとする。

【0061】そして、残りの $(70-S)$ 個の遺伝子の中から、所要時間の短い露光シーケンスに対応する遺伝子ほど選ばれやすいような選択手法を用いて $(N-S)$ 個の遺伝子を選び、これらも次の世代 (つまり、 $t+1$ 世代目) に残すものとする。つまり最短所要時間の露光シーケンスのものと、それ以外のものとで合計N個の遺伝子となるように遺伝子を淘汰 (Survival) する (ステップ44)。この選択法は、露光シーケンスの所要時間の短い順にN個選ぶものでなく、上位の露光シーケンスを選び易くするとともに下位 (所要時間が長い) の露光シーケンスも少数ながら選ぶ可能性を残す選択方法である。このように下位の露光シーケンスも選択するのは、真の最適解が必ずしも上位の露光シーケンスから派生するものでなく、下位の露光シーケンスから派生する場合もあるからである。その一方で下位の露光シーケンスから派生するものが次の世代でも下位であれば、自然と淘汰されていくので真の最適解を見つける障害とならない。この選択法として、ルーレット選択法 (Roulette Wheel Selection) を適用することができる。例えば、移動シーケンスの最適化問題において移動シーケンスの解として3つの候補X、Y、Zがあり、それぞれの移動所要時間が10秒、20秒、20秒であるなら、解の適応度を時間の逆数と設定することを考える。このとき、この3つの解の中から1つの解をルーレット選択するなら、解X、Y、Zが選ばれる確率は、それぞれ0.5、0.25、0.25となる。

【0062】このようにして淘汰された新たな26個の遺伝子が次世代の遺伝子の集合G_{t+1}となる。そして、ステップ14に戻り遺伝的オペレータによる同様の処理を繰り返す。この世代交代を繰り返すアルゴリズムから理解されるように、例えばレチクルの交換に10秒かかり、その時間内に例えば40世代目までの計算が終わっているのであれば、40世代目の遺伝子 (解) 集団の中で最短の露光シーケンスが得られ、レチクルの交換に11秒かかり、その時間内に41世代目までの計算が終わっているのであれば、41世代目の遺伝子 (解) 集団の中で最短の露光時間が得ることができる。

【0063】さらに、図9に示すように、より効率的に最適解または最良解を得るために、LK法を遺伝的オペレータの一つとして遺伝的アルゴリズムの中に組み込むことも可能である。この場合、交叉的オペレータおよび突然変異オペレータ適用後の新生遺伝子を含む遺伝子集団の中の、例えば全ての遺伝子、に対してLK法を適用 (以降これをLKオペレータと呼ぶことにする) する (ステップ38)。したがって、ここで新たに新生遺伝

23

子集団D (Dに含まれる新生遺伝子は $N \times 2 P c (1 + P m 1)$ } $\times (1 + 2 P m 2)$ 個) が生成される (ステップ40)。つまり、淘汰の直前では、 $2 N \times 2 P c (1 + P m 1)$ } $\times (1 + 2 P m 2)$ 個の遺伝子が存在することになる (ステップ42)。なお、予め設定した交叉率 $P c$ 、予め設定した突然変異率 $P m 1$ 、 $P m 2$ および遺伝的アルゴリズム等は、メモリ17 (図1) に記憶しておけばよい。

【0064】以上の本実施例では、遺伝的アルゴリズムを、スキャン露光型の投影露光装置に適用し、1枚のウェハ上に複数の露光を行う際の所要時間を最短にするため、各チップ領域の露光順序 (経路) およびそれに同期するレチクルの動作を同時にスケジューリングすることができた。

【0065】本発明は、検査対象物 (プレパレート等) が複数並んでいるパレット、移動型センサー (例えば、センサー列方向と垂直なスキャン動作を伴うラインセンサー等) または複数レチクル (または対物レンズ) のレボルバーの切り替えを制御するような検査装置においても、検査点移動のための総所要時間の最短化手法としても実施可能である。また、一括露光方式の投影露光装置において複数枚のレチクルを異なる順 (予め複数種類のレチクル使用順序が用意されている場合を仮定している) に各チップ領域に適用する場合、および、スキャン露光方式でありかつ前記複数枚のレチクルを異なる順 (予め複数種類のレチクル使用順序が用意されている場合を仮定している) に各チップ領域に適用する場合など、レチクル側の動作の選択肢が多者択一であるような場合にも、本発明は適用可能である。

【0066】本実施例によれば、交叉オペレータによる局所的な探索と、突然変異オペレータによる大域的な探索が融合され、さらにステージとレチクルの2つ移動項目を同時に扱うことで、相互に関連する2つのステージの移動シーケンスを同時に最適化することが可能となる。そのうえ、遺伝的アルゴリズムによる世代の交代毎に各世代の最良解を提示するため、許容計算時間内に計算を中断しても、計算時間に見合った近似解を出力できる。

【0067】なお、ウェハステージ14およびレチクルステージ9の無駄な動きを少しでも多く排除し、より露光シーケンス総所要時間を短縮することを目的に、本実施例記載の、各チップ領域のスキャン露光終了毎の一時停止を辞めることを考えるときは次のようなる。各チップ領域におけるスキャン露光において、露光光が照射されている期間 (このとき、ウェハステージ14もレチクルステージ9も共に同期してY方向の定速運動を行っているのが通常である) の前後に着目し、1つのチップ領域でのスキャン露光における前記期間の終了時点から、次のチップ領域でのスキャン露光における前記期間の開始時点までの時間を単位移動シーケンス所要時間とすれ

24

ばよい。この場合でも、それぞれの単位移動シーケンス所要時間を最短にするようなウェハステージ14およびレチクルステージ9の最適な移動シーケンスは一意に求まるので、前記単位移動シーケンス所要時間を記憶するテーブルもまた一意に求まる。したがって、上記実施例の場合同様、各チップ領域におけるスキャン方向、および各チップ領域の露光順序の両方が本発明により最適性を伴って決定できれば、一連の露光シーケンスに対する総所要時間を最短にする移動シーケンスが求まる。

【0068】また、本実施例の交叉オペレータとして、SXXの代わりにOX: OrderCrossover (L. Davis, "Applying Adaptive Algorithms to Epistatic Domains", Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), 1985)、PMX: Partially Mapped Crossover (D. E. Goldberg & R. Linge, "Alleles, Loci, and the Traveling Salesman Problem", Proceedings of International Conference on Genetic Algorithms (ICGA), 1985) やEAX: Edge Assembly Crossover (永田, 小野, 小林: 「形質遺伝性と交叉の自由度のトレードオフを考慮したTSPの新しい交叉: 枝組み立て交叉 (Edge Assembly Crossover) の提案と評価」, システム/情報合同シンポジウム'96, 計測自動制御学会, 1996) など、TSPの解法に用いられている交叉オペレータを利用可能である。

【0069】追記するなら、遺伝的アルゴリズムは、一括投影露光装置において露光の順序の最適化に対しても適用できる。この場合には、スキャン方向を考慮する必要がないので計算が容易となる。すなわち、最適解の露光シーケンス総所要時間は、任意の単位移動シーケンスに対する最短移動時間 (つまり任意の2つのチップ領域間の最短移動時間) を記憶した2次元のテーブルを予め準備できれば、(最終的な露光シーケンスが最短になるという意味で) 最適な露光順序を考慮するだけで足りる。各々のチップ領域間最短移動時間は、ステージのXおよびY方向の最高移動速度および最大加減速度から容易に一意に計算可能であり、チップ領域がn個なら、 $n \times (n - 1)$ 回 (一連の露光シーケンスの前後のウェハステージの位置が指定されている場合であっても、高々 $n \times (n + 1)$ 回) の計算を行うことで、全てのチップ領域間最短移動時間を求めることができる。一括露光方式の投影露光装置においては、ウェハステージの移動シーケンスだけが最適化の対象となるので、最適解を見つける計算時間は (レチクルステージの移動も同時に考慮する必要のある) スキャン露光型の投影露光装置の場合に比べ、従来の解法との差が顕著でない可能性は高い。けれども、例えば一括投影露光装置のユーザーが任意の (複数の) チップ領域に対して露光不要の指定をした場合には有効性が現れると考えられるし、このような場合に許容計算時間内に計算を中断しても、計算時間に見合った近似解を出力できる意義は大きい。

25

【0070】<<本発明の解法と従来の解法との差異>>以降の説明では、本発明の解法による結果と従来の解法による結果との差異を明確に表現するために、一連の露光シーケンスにおける①露光経路の違い、つまり、1枚のウエハ座標形上に露光光中心点が描く軌跡の経路の違いと、②1枚のウエハを露光するに必要な露光シーケンス総所要時間の違いとを示す。

【0071】真の最適解であるという保証は、生成可能な全ての制約充足解（可能基底解）を調べなければ得られず、そのためには莫大な計算量を要するため、これは現実的でない。そこで、予め、MGGモデルを用いたGAにおいて、集団サイズを大きめに、交叉率を高めに、そして集団サイズに比べ突然変異率を十分高めに設定し、収束したと思われるほど十分な世代交替を行わせた。ランダムに生成した初期集団から、十分時間を掛けて世代交替を行わせた場合の収束解（真の最適解）は、図13に示すように、開始点や終了点の前後には、それぞれの点の最近傍のチップ領域を経過するようになっており、見た目にも長いと思われる経路が存在せず、所要時間は16.974秒となった。以降、このときの収束解を「真の最適解」の代用として扱う。このGAでは、集団サイズNをN=100、交叉率PcをPc=0.5、2種類の突然変異率Pm1およびPm2をPm1=0.3、Pm2=0.3に設定し、800世代に至るまで計算を続行した（約3時間）。収束解とみなした解が最初に出現したのは380世代頃であり、そこまでに既に約1.5時間を費やした。このGAでは、時間さえ十分掛ければ最終的に最適解に至るが、このままでは現実問題に使用できない。そのため、上記図8および図9の遺伝的アルゴリズムによる解法では、高速に最適解を求めるように工夫してある。

【0072】<本発明による進化的計算法に基づく解法>はじめに初期集団を生成する。上記単位移動シーケンスに対する最短移動時間を記憶した2次元のテーブルには、スキャン露光に対する制約が反映されているから、一例として、このテーブルを参照して各チップ領域を（たとえ同一チップ領域でスキャン方向が違う場合でも）重複しないで唯一回ずつ通るような露光シーケンスを任意に生成すれば、任意の可能基底解を表す遺伝子を生成できる。このように、任意に生成した複数の遺伝子（それぞれが可能基底解）を初期集団とし、集団サイズ、交叉率、突然変異率を変えて予備実験を繰り返した結果、集団サイズ=チップ数、交叉率=0.5、シフト突然変異率=0.2、スキャン方向反転突然変異率=0.2という設定、かつLKオペレータを全ての遺伝子に適用するという設定の下で、約10秒以内に最適解を生成できるようになった。更に、LK法で得た解を初期解にすると、安定して2秒以内にLK法に優る解を生成し、5秒以内に最適解を生成するに至った。

【0073】NN法+LK法（つまり、NN法で得た解を初期解とするLK法）の解は、スキャン露光シーケ

26

ス最適化問題にとって局所解である（局所的な最適解であり、真の最適解、すなわち大域的な最適解ではない）可能性が高い。従って、GAが大域的探索を行うにあたり、解の探索空間にバイアスを掛けてしまう（すなわち、その局所解近傍に偏った探索を行う）危険性がある。これを回避するためには、NN法+LK法での最良解と同時に、全く露光シーケンスの異なる良質の解を同時に初期集団に加えることが望ましい。露光シーケンスが全く異なっている、良質でなければ、GAにおいて直ぐに淘汰され死滅してしまうからである。そのため、初期集団には、探索開始点を様々に変えることで複数回行ったNN法の（複数の）解、および初期解を様々に変えることで複数回行ったLK法の（複数の）解の中から、それらの解の中において最良でないような解も多く加えることを考えた。

【0074】ここでは、予め解の最大候補数の上限をq個に制限し、NN法で得られた解のうち露光シーケンス所要時間が短いもの上位q個の解についてのみLK法を適用し（このときq個の解が得られる）、それぞれの解の評価値に見合った確率で集団サイズ（N個）ぶん確率的に非復元抽出する方法（ルーレット選択法）を採用した。そしてq=200個の解からルーレット選択によりN=26個の解を選び、これをGAにおける初期遺伝子集団とした。以上の方法により得られた結果は、全体の露光シーケンス総所要時間（初期点ST～最終点EN）は、16.974秒であり、図13と同じ露光シーケンスであった。つまり、図9の遺伝的アルゴリズムで約4秒かけて求めた解は、前記MGGモデルのGAで1.5時間かけて求めた真の最適解と同じであった。

【0075】<従来手法：経験則に基づく解法>図14～図17は従来手法による結果を露光経路と露光シーケンス総所要時間で表わしたものである。従来手法は、特定の条件下で一連の露光シーケンスの所要時間が最短である（または、極めて短い）露光シーケンスを元にして、そして、その露光シーケンスに対して、任意に加えられた制約を満たすような部分的な変更を行うことで得られる新たな露光シーケンスは、前記任意に加えられた制約の下において最適解にならないとしても、そこそこ優良な解だろうという経験的な期待から利用されている。そのため、以降この手法を「経験則に基づく解法」と呼ぶことにする。

【0076】ここで、経験則に基づく解法を簡単に説明する。スキャン露光型の投影露光装置では、例えばウエハステージのX方向の移動速度および加速度がY方向の移動速度および加速度よりも優に勝っている場合には、次に示すスキャン露光シーケンス最適化問題に固有の2つの経験則を用いて、露光シーケンスを決定している。この場合、実際には(1)を優先し、(1)を満たす範囲で(2)を採用する。

【0077】(1) 各チップは基盤目に規則的に配列し

27

ているため、おおまかな経路として、下（上）から順に左端（右端）に到達するまで露光する。つまり1列に（X方向に連なって）並んだ一連のチップ領域を露光し尽くした後に、Y方向に移動して次の行に、今度は逆向きに進む。

【0078】(2) 露光を伴わないレチクルの移動は時間の無駄になる可能性があるため、このような動作をできるだけ回避する。そのため、1行に並ぶ複数のチップ領域を露光するに当たり、スキャン方向に指定がない限り、前のチップ領域とは逆向きにスキャン露光する。したがって、スキャン方向に指定を持たないチップ領域だけからなる1行では、スキャン方向は順次、正／逆反転しながら露光する。

【0079】ここで用いている経験則は、幾つかの実例を考え、部分的に最短時間経路となるパターンを考案したものである。前述したように、例えばウェハステージのX方向の移動速度および加速度がY方向の移動速度および加速度よりも優に勝っている場合に、スキャン方向指定の無い全てのチップ領域を露光する際には、真の最適解の一つとなることもある。仮にステージの性能上の条件が異なるなど、真に最適解にならない場合においても、そこそこに良質の解が得られることを期待している。この経験則に基づく解法は、計算所要時間は高速だが、ステージの性能や投影露光装置のユーザから任意に与えられる制約などの様々な条件を十分に考慮した最適化を行っていないという問題点がある。

【0080】経験則による解法で得られた解は図14のようになり、全体の露光シーケンス総所要時間（初期点ST～最終点EN）は、17.629秒であった。図14では、チップ配列が奇数行（チップ領域A～Dが第1行、チップ領域E～Jが第2行、…、チップ領域W～Zが第5行）で且つ初期点STと最終点ENが対角の位置でないため、開始点STからチップ領域Dに至るようなかなり長い経路が生じてしまうという問題点がある。この問題点は、例えば開始点STを左右方向に対称の位置に設定することで回避可能であり、その結果、図15に示すような解（全体の露光シーケンス総所要時間は17.254秒）を得る。ただし、このような前記問題点の回避手段を用いると、露光シーケンスの直前に行うシーケンス

（たとえばウェハアライメントのシーケンス）を変更する必要があり、他のシーケンスに対して不必要な制約を与えることになる危険性を伴う。

【0081】また、前記投影露光装置のユーザから任意に与えられる制約に対しては、経験則による解法を用いることで、図16、図17のような解を得る。図16は開始点STと最終点ENが対角の位置でない場合、図17は開始点STと最終点ENが対角の位置である場合、に得られた解である。図16、図17の全体の露光シーケンス総所要時間は、各々19.567秒、19.268秒である。このように、経験則による解法にとっては、図16

28

の場合の実験設定が最も全体の露光シーケンス総所要時間を長くすることがわかる。しかし、同じ実験設定においてさえ、前記MGGモデルのGAで求めた最適解では全体の露光シーケンス総所要時間が16.974秒となり2.593秒も短くすることが可能であることを確認できる。

【0082】＜線形計画法：最良近傍優先探索法（Nearest Neighbor Method：NN法）＞本発明が対象としている「露光シーケンスの最適化」の問題は、局所的な部分露光シーケンスが最適であっても、そのような部分露光シーケンスを持つ露光シーケンスが必ずしも最適な露光シーケンスとはならない。このような問題に対して線形計画法を用いて解を求めても、得られた解は必ずしも

（大域的）最適解とはならない。しかし、非常に高速に優良解、すなわち局所最適解を生成する手法であるので、短時間で解を求めることが重要視される場合には、有効な近似解法として用いられている。また、一般に汎用性も高く、前記のように投影露光装置のユーザから任意の制約を与えられた場合にも容易に対応できるため、現実問題には有益な手法である。

【0083】ここでは、最も一般的な探索法である、最良近傍優先探索法（Nearest Neighbor Method：NN法）を、線形計画法による一実施例として取り上げる。NN法は、最初の1点を任意に選び、そこから最も短時間で到達できる点を次の点とするという操作を繰り返す方法である。但し、一度選んだ点については選択の候補から順次外してゆく。

【0084】ただし、例えば、最初の1点を露光シーケンスの中間点とすると、露光順序の前方向と後方向の両方向探索をする必要があり、しかも前方向と後方向の探索において同時に同じ点を取り合いするような可能性も出てくる。このとき、どちらの探索を優先するかを一意には決められないので都合が悪い。そこで、最初の1点をチップ開始点とした場合と、チップ終了点とした場合の2つの場合について実験を行なう。なお、最良の単位露光シーケンスの探索過程において、次に選ぶ単位露光シーケンスの候補が複数存在する（次のチップ領域におけるスキャン露光開始点まで移動するための単位露光シーケンス移動所要時間が、どれも等しく最短であるものが複数存在する）場合については、その全ての場合を探索すると最悪の場合全探索になりかねない。これを回避することで計算時間を短縮する目的で、各点において次の候補点から任意に数点（たとえば、最多の場合でもp点選ぶと予め設定し、1～p点の間で何点選ぶかは各点において任意に決めるなどして）選ぶような工夫を導入することも可能である。

【0085】この種のアルゴリズムを高速に実行するためには、予め考えられる移動パターンのテーブルを作っておき、そこにそれぞれの移動所要時間を書き込んでおく。しかも、ある点から次の点に移動する候補のリストは、所要時間の少ない順にソートしておくことが有効で

29

ある。こうすることにより、まだ通過していない点を、候補リストの先頭から選んで行けば済むからである。同様にLK法および進化的計算法においても、移動時間の計算の効率化のために、同一の移動パターンのテーブルを利用している。

【0086】NN法による解においては、探索開始点の近傍では短い部分経路が多く、終了点近傍ほど長い部分経路になってしまう傾向が予想される。そのため、NN法による探索の開始点として、チップ領域の開始点を選ぶ場合と、チップ領域の終了点を選ぶ場合（チップ領域の順序をチップ順と逆向きに探索）とを実験した。実験の結果、探索開始点をチップ開始点とした「前向き探索」、および、探索開始点をチップ終了点とした「後向き探索」のそれぞれにおいて、NN法による解を生成した。本実施例では、確認のため、前記pを、それぞれの時点での最大候補数とした場合、すなわち全ての候補について探索した場合には、「前向き探索」で1665個、および前記「後向き探索」で1455個の解を生成した。これら、合計3120個の解の中には、各チップ領域におけるスキャン方向の多様性も、また、この多様性に伴うチップ順の多様性も確認できた。図18、図19に、それぞれの探索における最良解を示す。

【0087】これら3120個の解を生成するまでの計算時間は、約0.07秒であった。この結果、前向き探索（探索開始点が初期点ST）した場合の最良解は図18のようであり、全体の露光シーケンス総所要時間（初期点ST～最終点EN）は、17.581秒であった。後向き探索（探索開始点が最終点EN）した場合の最良解は図19のようであり、全体の露光シーケンス総所要時間（初期点ST～最終点EN）は、17.478秒であった。

【0088】< Lin&Kernighan の解法（LK法）> LK法は、対称型のTSP（Traveling Salesman Problem：巡回セールスマン問題）に対する高速近似解法、すなわち、非常に短い計算所要時間で最適解の近似解が得られる手法として有名で、2-opt法や3-opt法の総称であるk-opt法を発展させた手法である。これらの手法の詳細については後述する。また、TSPとは、n個（ $n > 1$ ）の都市に対する任意の都市配列が与えられた場合に、各都市を1度ずつ、かつ全ての都市を巡回するための最短経路を求める問題である。TSPには、対称型と非対称型が存在する。対称型TSPとは、与えられたn個の都市配列に対する一連の都市訪問順序を逆順に巡回しても全体の経路長が変わらないような対象に対するTSPを指し、逆に、非対称型TSPとは、前記都市訪問順序を逆順に巡回すると全体の経路長が変わるような対象に対するTSPを指す。

【0089】TSPは本来、例えば2次元平面上などに任意に配置された都市配列を想定して巡回経路を最短化することを目的として考案された問題であり、そのような都市配置空間における任意の2都市間の最短経路（つ

30

まり任意の単位経路）は両都市を直線で結ぶことで一意に求められるので、それぞれの都市の訪問順序が決まれば、その訪問順序に従う最短巡回経路は一意に求められる。従って、全都市を巡回する経路が最短になるような都市訪問順序（都市順列）を求めることが、TSPの解を得ることに等しい。それゆえ、対象とする問題が経路（つまり物理的な空間上の距離）そのものの最短化を目的としていなくても、順列の最適化に等しいように変換できれば、TSPの解法はそのまま利用可能である。例えば、一括露光型のステッパーにおいて、全てのチップ領域を露光するために掛かる所要時間を最小化するように露光シーケンスを決定する問題なら、そのままTSPの手法が利用可能である。このときの単位移動シーケンス所要時間は、（ウェハステージのXおよびY方向の移動は独立に同時に可能なので）任意の2つのチップ領域間の距離ではなく、前述の単位移動シーケンス所要時間テーブルに記憶されているとおりになる。以下では、このようにして、k-opt法の改善版とみなすことが出来る「LK法」を用いることを考える。

【0090】NN法が、全く無の状態から解を生成する「生成法」であるのに対して、k-opt法やLK法は、何らかの初期解（出力される解に特定の制約を満たすことを要求する「制約充足問題」である場合は、可能基底解であることが初期解の必要条件である）を最初に与え、それを改善してゆく「改善法」である。特にLK法は、初期解の巡回順序列の一部を取り出しその部分順序を逆順にするような操作を、改善が進む限り、改善後の解に対しても繰り返し改善を行う方法である。この1回の改善では、取り出された部分順序列の両端の経路（切断された2つの経路）の長さの和が、逆順にした場合のほうが元の場合よりも短ければ、その差分だけ全体の経路は短くなっていることになる。従って、この2つの長さだけに着目すれば、全体経路長を計算しなくても済むので効率が良い。このような1回の改善を2-optと呼ぶ。2-optを行なった後、取り出した部分経路の一端を今度は別の端と組合せて2-optを再び行なうと、全体として3つの端を変更したことになる。これを3-optと呼ぶ。これらを総称してk-optと呼ぶ。k-optは、kの値が予め所与であり、改善対象となる初期解によって最適なkの値が様々であることに十分適応できないという問題点があった。しかし、LK法では、改善が進む限りk-optのkを（2から始めて）1ずつ更新してゆくことになるので、k-opt法における問題点が克服された。

【0091】本実施例では、NN法で得た近似解を元に、LK法を用いる。つまり、各チップ領域のスキャン方向はNN法で決定される。すなわち、LK法では、初期解として与えられたNN法の近似解に対し、スキャン方向を変えないで、より所要時間が短くなるようなチップ順を探索することになる。なお、LK法では、1つの初期解に対し1つの改善解が生成される。1つの初期

31

解から1つの改善解を生成するので、初期解は多いに越したことはない。ここでは、NN法で得た3120個の解を初期解として、これを改善する接近法を採った。

【0092】ただし、本発明で対象としている前記露光シーケンスの最適化においては、チップ領域の露光順序の部分順序については、逆順にすると所要時間が変化するものがある。つまり、対象TSPのような順序の対称性は保証されない。したがって、k-OPT法やLK法において、逆転した部分順序における露光シーケンス所要時間は、その都度計算し直さなければならないことに注意されたい。

【0093】NN法の前向き探索による1665個の解全てに対してLK法を適用して1665個の解を得るまでの計算時間は0.27秒、同じくNN法の後向き探索による1455個の解全てに対する同様の計算時間は0.144秒であった。つまりこれら3120個の解を得るまでの計算時間は、約0.414秒であった。LK法により改善される箇所が多いほど計算時間が増加するため、対象とした初期解の数に単純に比例しない。この実験結果から、NN法の解（前向き探索）をLK法の初期解に用いた場合の最良解は図20であり、全体の露光シーケンス総所要時間は17.269秒であった。NN法の解（後向き探索）をLK法の初期解に用いた場合の最良解は図21であり、全体の露光シーケンス総所要時間は17.128秒であった。

【0094】図22～図24は、各種の解法、その解法に要する計算時間及びその解法により得られた露光シーケンスの所要時間の関係を表したものである。縦軸に露光シーケンス総所要時間、横軸に計算時間を示す（単位は秒）。図22は、経験則による解法により得られた解をもつ露光シーケンス総所要時間、NN法による最良解を求めるために必要とした時間とその時の解における露光シーケンス総所要時間、およびNN法による最良解を初期解としてLK法による最良解を求めるために必要な計算時間とその時の解における露光シーケンス総所要時間を示したものである。

【0095】図23は、前述のようにランダムに発生させた可能基底解からなる解集合を作り、これを初期集団としてGAを試行した結果である。図24は、NN法+LK法により得た解からなる解集合を作り、これを初期集団としてGAを試行した結果である。どちらの場合も、世代交代が進むにつれて最良解を更新していく様子がわかる。両図とも、比較のため図中に、経験則による解法により得られた解のもつ露光シーケンス総所要時間、NN法による最良解における露光シーケンス総所要時間、およびLK法による最良解における露光シーケンス総所要時間を記しておく。なお、図23に示すGAで得られた最良解は、計算時間9.05秒かけて露光シーケンス総所要時間16.974秒であった。同様に、図24に示すGAで得られた最良解は、計算時間3.194秒かけて露光シーケンス総所要時間16.974秒であった。

32

【0096】次に、12インチウエハにおける露光シーケンスについて説明する。12インチウエハに露光されるチップ数は76個とする。ウエハステージの終了点を(30, 350)とする。それ以外は、図4で説明したものと同一条件であり、チップ領域も25mm(X方向)×33mm(Y方向)とした。図25は、12インチウエハ上の座標系における記号01～78で記された76個の各チップ領域の中心座標(X, Y:単位mm)および各チップ領域のスキャン方向の制約を表したものである。
‘fore’ ‘back’ ‘any’の意味は、図5で説明したものと同一である。図26は、図25で規定された位置にチップ領域01～78を配置した図である。

【0097】図27は、図15に対応する経験則に基づく解法により求められた12インチウエハの露光シーケンスを表わしたもので、シーケンスの所要時間は、55.189秒であった。図28は、図18に対応するNN法により求められた12インチウエハの露光シーケンスを表わしたもので、シーケンスの所要時間は、50.306秒であった。図29は、図20に対応するLK法により求められた12インチウエハの露光シーケンスを表わしたもので、シーケンスの所要時間は、49.429秒であった。図30は、図13に対応する遺伝的アルゴリズムによる解法(LK法により初期解を生成)により求められた12インチウエハの露光シーケンスを表わしたもので、シーケンスの所要時間は、48.635秒であった。

【0098】12インチウエハのように露光される領域が大きくなればなるほど、経験則に基づく解法によるシーケンス所要時間に比べ、オペレーションズ・リサーチ的な手法及び遺伝的アルゴリズムによる解法によるシーケンス所要時間の改善が大きくなる。また、8インチウエハにおける移動シーケンスを表わした図13～図21、12インチウエハにおける移動シーケンスを表わした図27～図30を一見すれば以下のことが容易に理解される。

【0099】今、図13～図21におけるチップ領域A～Dを第1行、チップ領域E～Jを第2行、…チップ領域W～Zを第5行と呼び、チップ領域E、KおよびQを第1列、チップ領域A、F、L、RおよびWを第2列…チップ領域J、PおよびVを第5列と呼ぶ。また、図27～図30におけるチップ領域01～08を第1行、チップ領域10～19を第2行、…チップ領域71～78を第8行と呼び、チップ領域10、20、30、40、50及び60を第1列、チップ領域01、11、21、31、41、51、61及び71を第2列…チップ領域19、29、39、49、59及び69を第10列と呼ぶ。

【0100】この場合、経験則に基づく解法によるシーケンスを示す図14～図17および図27では、第n行のチップ領域をすべて露光した後第n+1行のチップ領

域に移動する (n は自然数)。オペレーションズ・リサーチ的な手法及び遺伝的アルゴリズムによる解法によるシーケンスを示す図13、図18～21および図28～30では、第 n 行のチップ領域をすべて露光した後に第 $n+1$ 行のチップ領域に移動しない特徴、第 n 列において、第 n 行のチップ領域を1つ露光した後に第 $n \pm 1$ 行のチップ領域を露光し第 $n \pm 2$ 行のチップ領域を露光する特徴が見られる。

【0101】ここでの実験は、CPUが200MHzのワークステーション上で行った。以上の計算時間は、当然ながらMPUの性能等によっても変動するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例のスキャン露光型の投影露光装置の全体を示す構成図である。

【図2】スキャン露光方式で露光する場合の動作の説明に供給する斜視図である。

【図3】スキャン露光方式で露光する際のレチクルの走査速度VRの変化の様子を示す図である。

【図4】スキャン露光型の投影露光装置、チップ数等の条件を示した表である。

【図5】チップ領域の各座標およびスキャン方向を示した表である。

【図6】図5で規定されたチップ領域A～ZをウエハWに配置するとともに、スキャン方向の制約を示した図である。

【図7】単位移動シーケンス当たりの移動時間を2次元状に表わしたテーブルである。

【図8】進化的計算法（遺伝的アルゴリズム）を用いたフローチャートの1例である。

【図9】進化的計算法（遺伝的アルゴリズム）を用いたフローチャートの別例である。

【図10】交叉 (Crossover) オペレータを説明する図である。

【図11】対象物移動順序改善の突然変異 (Mutation (Cyclic Shift)) オペレータを説明する図である。

【図12】(a) は、対象物への走査方向改善の突然変異 (Mutation (Direction Flip)) オペレータを説明する図である。(b) は (a) の代替手法である。

【図13】8インチウエハで遺伝的アルゴリズムを用いた解法の結果を示す図である。

【図14】8インチウエハで経験則に基づく解法の結果を示す第1例の図である。

【図15】8インチウエハで経験則に基づく解法の結果を示す第2例の図である。

【図16】8インチウエハで経験則に基づく解法の結果を示す第3例の図である。

【図17】経験則に基づく解法の結果を示す第4例の図である。

【図18】8インチウエハにおいて線形計画法 (NN法) を用いた「後向き探索」の結果を示す図である。

【図19】8インチウエハにおいて線形計画法 (NN法) を用いた「後向き探索」の結果を示す図である。

【図20】8インチウエハにおいて初期解にNN法の「前向き探索」を使ったLK法を用いた結果を示す図である。

【図21】8インチウエハにおいて初期解にNN法の「後向き探索」を使ったLK法を用いた結果を示す図である。

【図22】経験則による解法、NN法およびLK法の計算時間と露光シーケンスの総所要時間の関係を表した図である。

【図23】ランダムに発生させた可能基底解を初期集団としたGAの計算時間と露光シーケンスの総所要時間の関係を表した図である。

【図24】NN法+LK法により得た複数の解を初期集団としたGAの計算時間と露光シーケンスの総所要時間の関係を表した図である。

【図25】12インチウエハにおけるチップ数等の条件を示した表である。

【図26】12インチウエハにおけるチップ領域の各座標およびスキャン方向を示した表である。

【図27】経験則に基づく解法により求められた12インチウエハにおける露光シーケンスの図である。

【図28】NN法により求められた12インチウエハの露光シーケンスの図である。

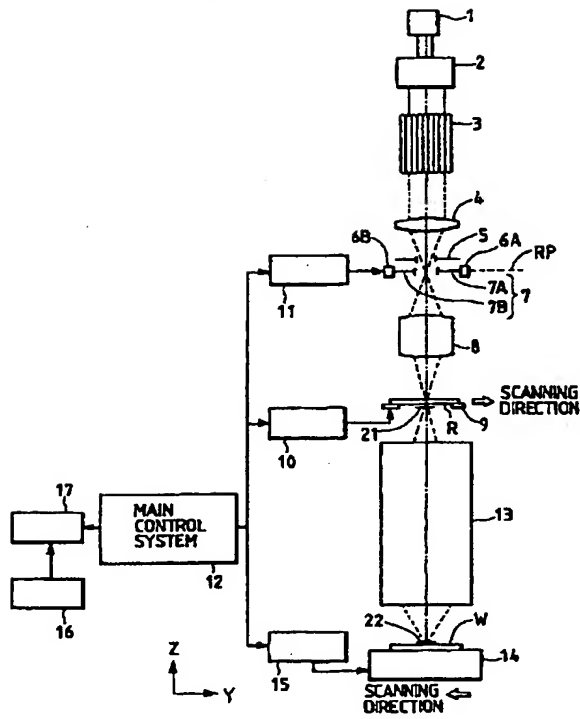
【図29】LK法により求められた12インチウエハの露光シーケンスの図である。

【図30】遺伝的アルゴリズムを用いた解法により求められた12インチウエハの露光シーケンスの図である。

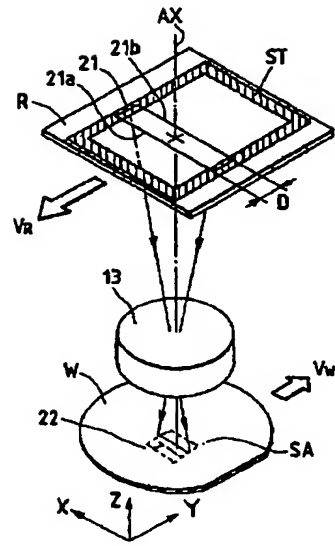
【符号の説明】

- 1 光源
- 3 フライアイレンズ
- 5 固定の視野絞り
- 7 可動ブラインド
- 7 A、7 B 羽根
- 8 リレーレンズ
- R レチクル
- W ウエハ
- SA チップ (ショット) 領域
- 9 レチクルステージ
- 10 レチクルステージ駆動部
- 11 可動ブラインド制御部
- 12 主制御系
- 13 投影光学系
- 14 ウエハステージ
- 15 ウエハステージ駆動部
- 21 スリット状の照明領域
- 22 スリット状の露光領域
- A～Z チップ (ショット) 領域
- ST 初期ポイント

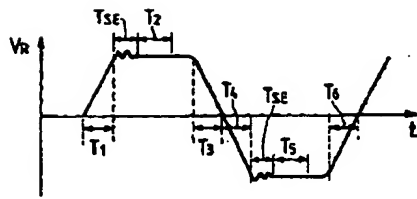
【図1】



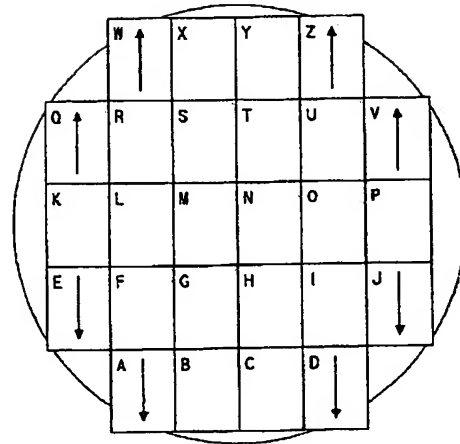
【図2】



【図3】



【図6】



EN(30, 300)

X

ST(50, 50)

【図4】

属性	パラメータ	セッティング
ウェハステージの初期点	ES _x	50
	ES _y (mm)	50
ウェハステージの終了点	EE _x	30
	EE _y (mm)	300
ウェハステージの加速度 (X方向) (Y方向)	A _{WX}	0.2 g
	A _{WY}	0.34 g
ウェハステージの最高速度 (X方向) (Y方向)	V _{WMAX_X}	200 mm/sec
	V _{WMAX_Y}	270 mm/sec
レチクルステージの加速度	A _R	0.56 g
レチクルステージの最高速度	V _{RMAX}	600 mm/sec
整定時間	T _{SE}	0.036 sec
チップ数	N	26

g : 重力加速度 (= 9.80 m/sec²)

【図5】

チップ領域	中心座標		スキャン方向 の制約	チップ領域	中心座標		チップ方向 の制約
	X	Y			X	Y	
A	100	100	back	N	150	166	any
B	125	100	any	O	175	166	any
C	150	100	any	P	200	166	any
D	175	100	back	Q	75	199	fore
E	75	133	back	R	100	199	any
F	100	133	any	S	125	199	any
G	125	133	any	T	150	199	any
H	150	133	any	U	175	199	any
I	175	133	any	V	200	199	fore
J	200	133	back	W	100	232	fore
K	75	166	any	X	125	232	any
L	100	166	any	Y	150	232	any
M	125	166	any	Z	175	232	fore

【図7】

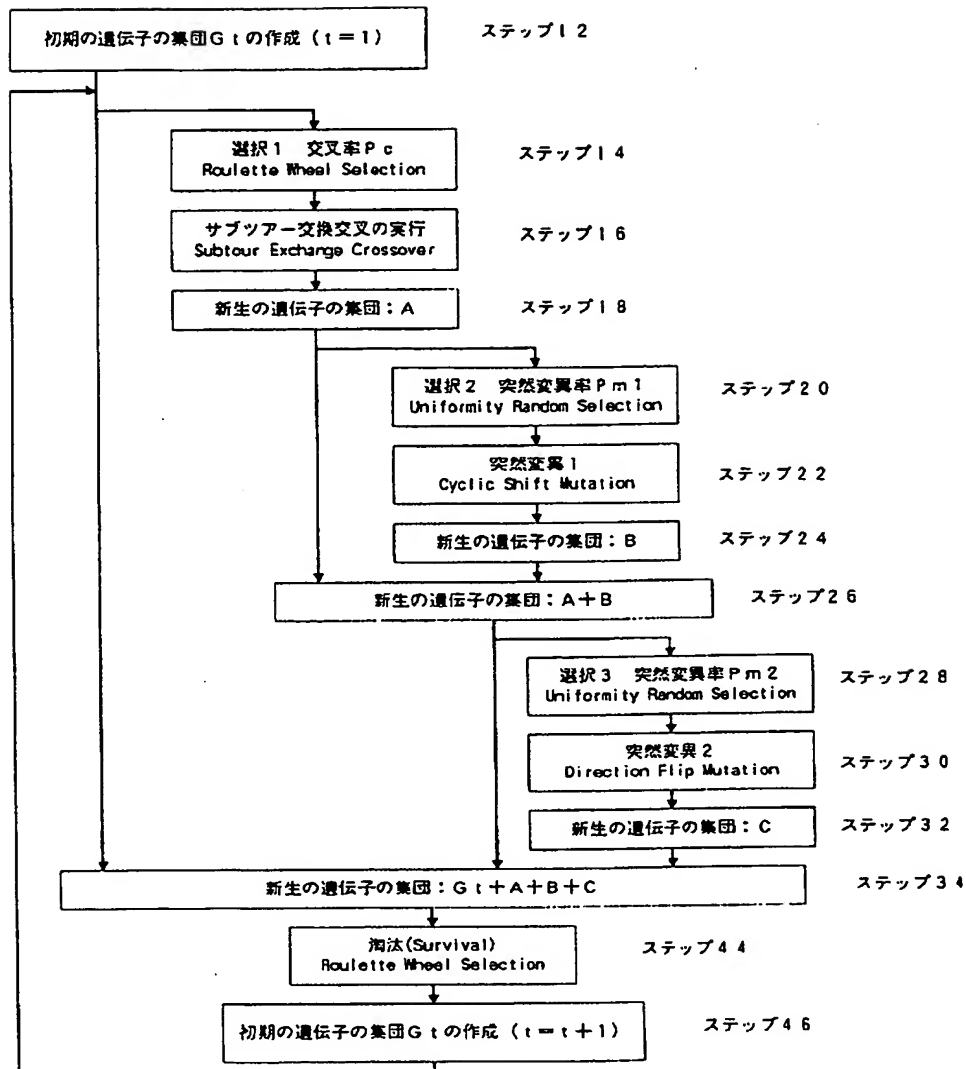
スキャン用時間テーブル

単位露光シーケンス所要時間のテーブル

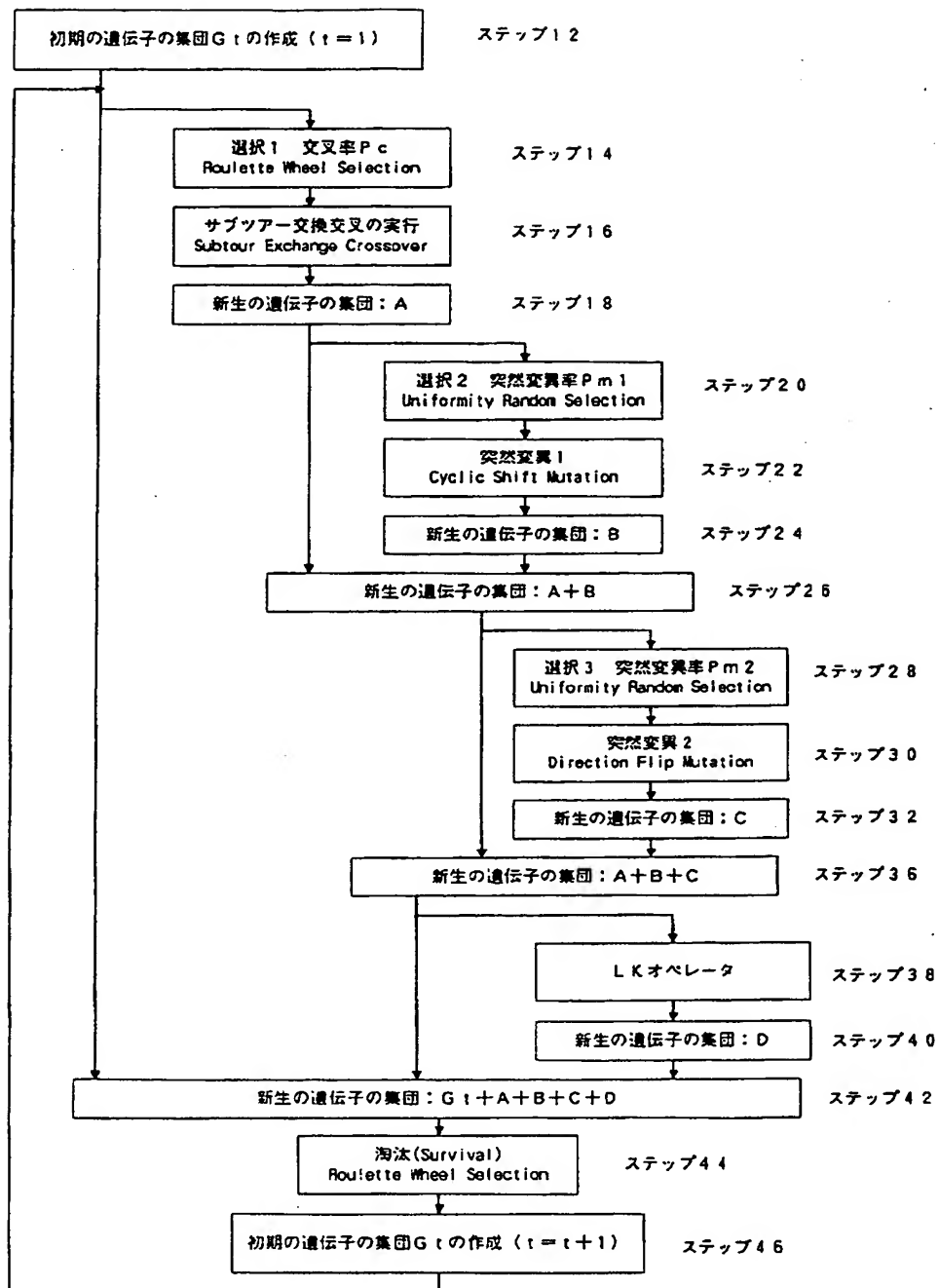
	START(+)	START(-)	A(+)	A(-)	B(+)	B(-)	.....	Y(+)	Y(-)	Z(+)	Z(-)
A(+)	X	X	X	X	X	X	.....	X	X	X	X
A(-)	0.326994	0.487844	X	X	0.159665	0.487844	.....	0.476296	0.487844	0.476296	X
B(+)	0.487844	0.375	X	0.159665	X	X	.....	0.759913	0.501481	0.759913	X
B(-)	0.375	0.487844	X	0.487844	X	X	.....	0.476296	0.487844	0.476296	X
.....
Y(+)	0.532266	0.532266	X	0.476296	0.487844	0.476296	.....	X	X	0.487844	X
Y(-)	0.815883	0.815883	X	0.759913	0.501481	0.759913	.....	X	X	0.159665	X
Z(+)	0.625	0.625	X	0.476296	0.487844	0.476296	.....	0.487844	0.159665	X	X
Z(-)	X	X	X	X	X	X	.....	X	X	X	X
END(+)	X	X	X	0.869957	0.611525	0.869957	.....	0.6	0.6	0.725	X
END(-)	X	X	X	0.869957	0.611525	0.869957	.....	0.6	0.6	0.725	X

単位はすべて秒

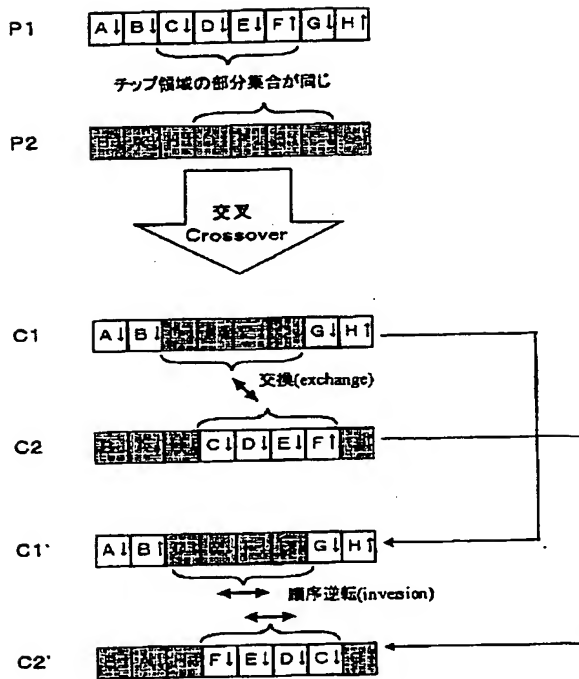
【図8】



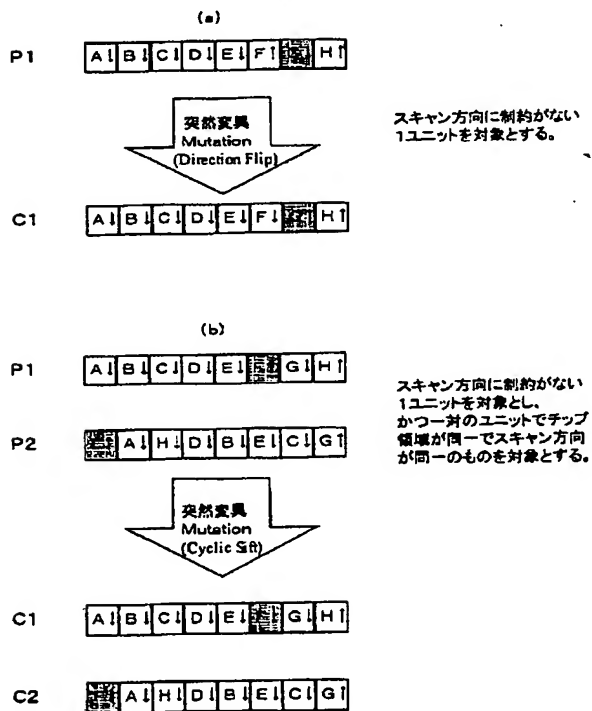
【図 9】



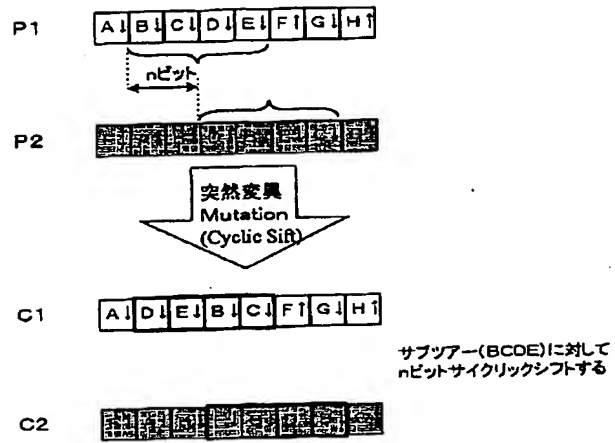
【図10】



【図12】

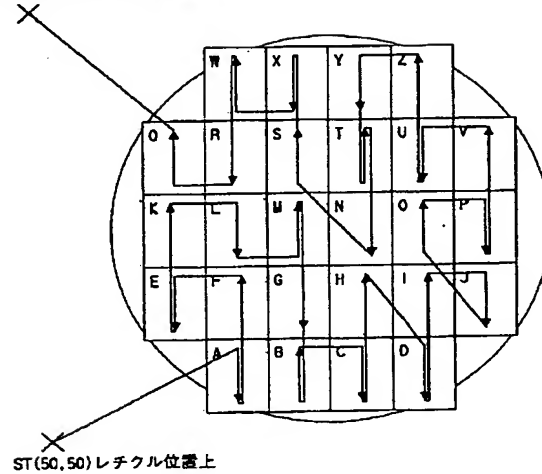


【図11】

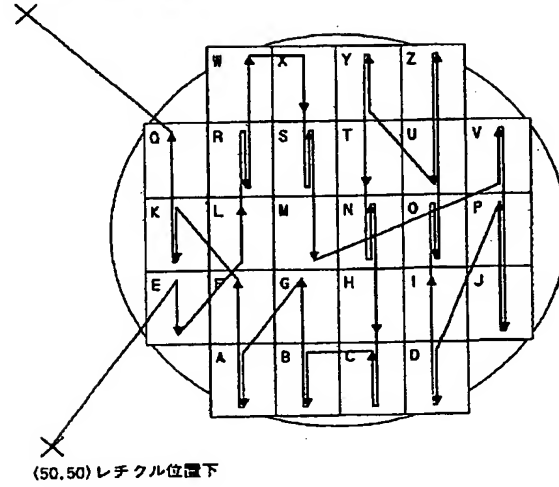


【図13】

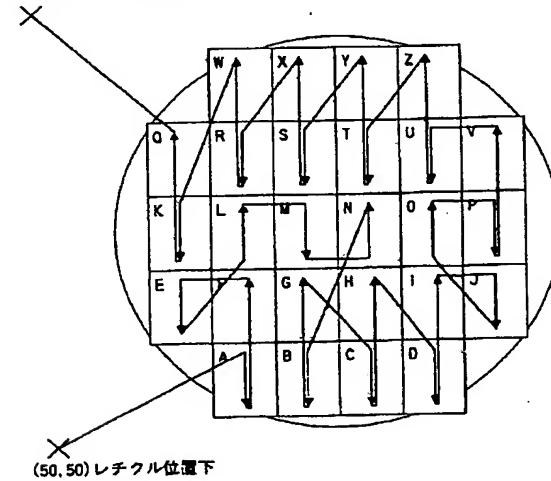
EN(30, 300) レチクル位置上



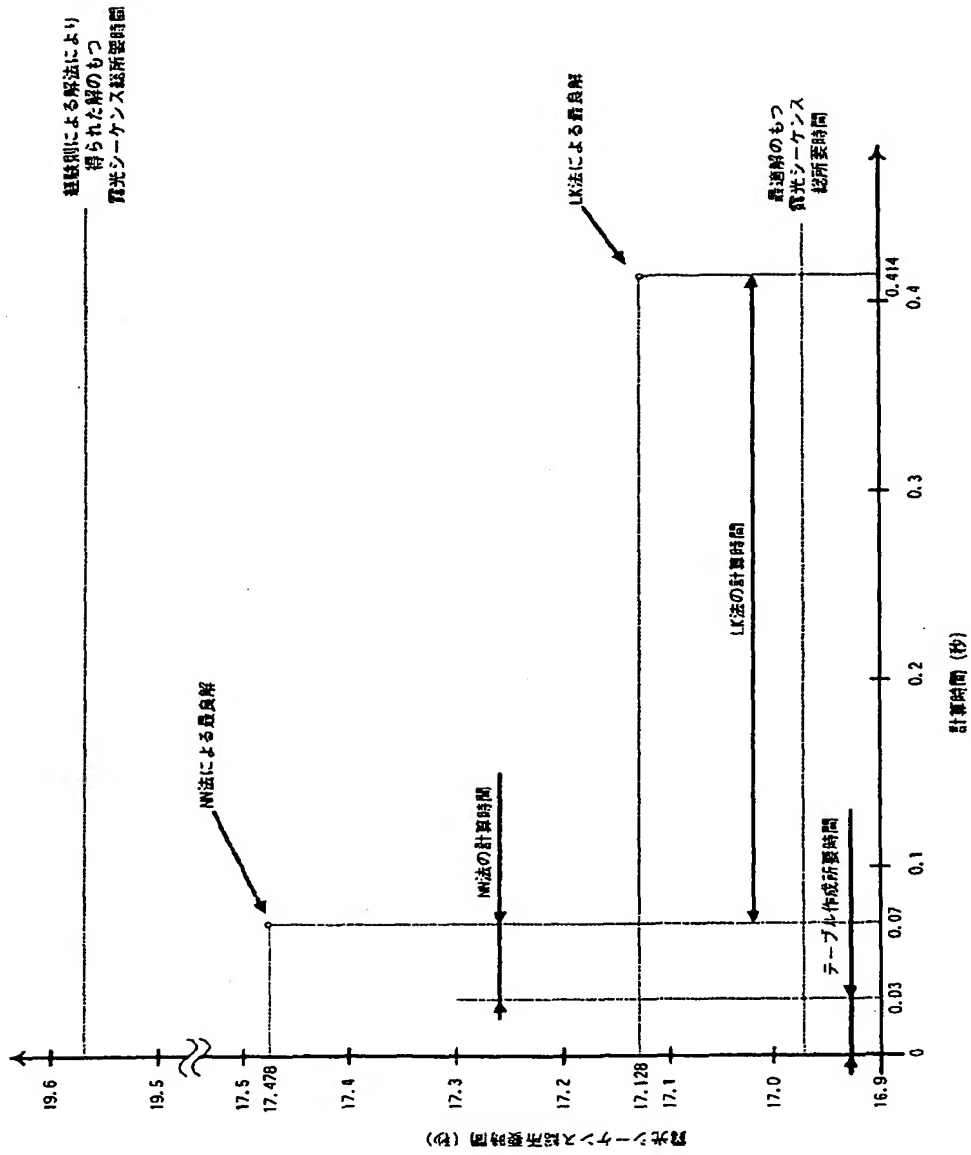
【図 19】



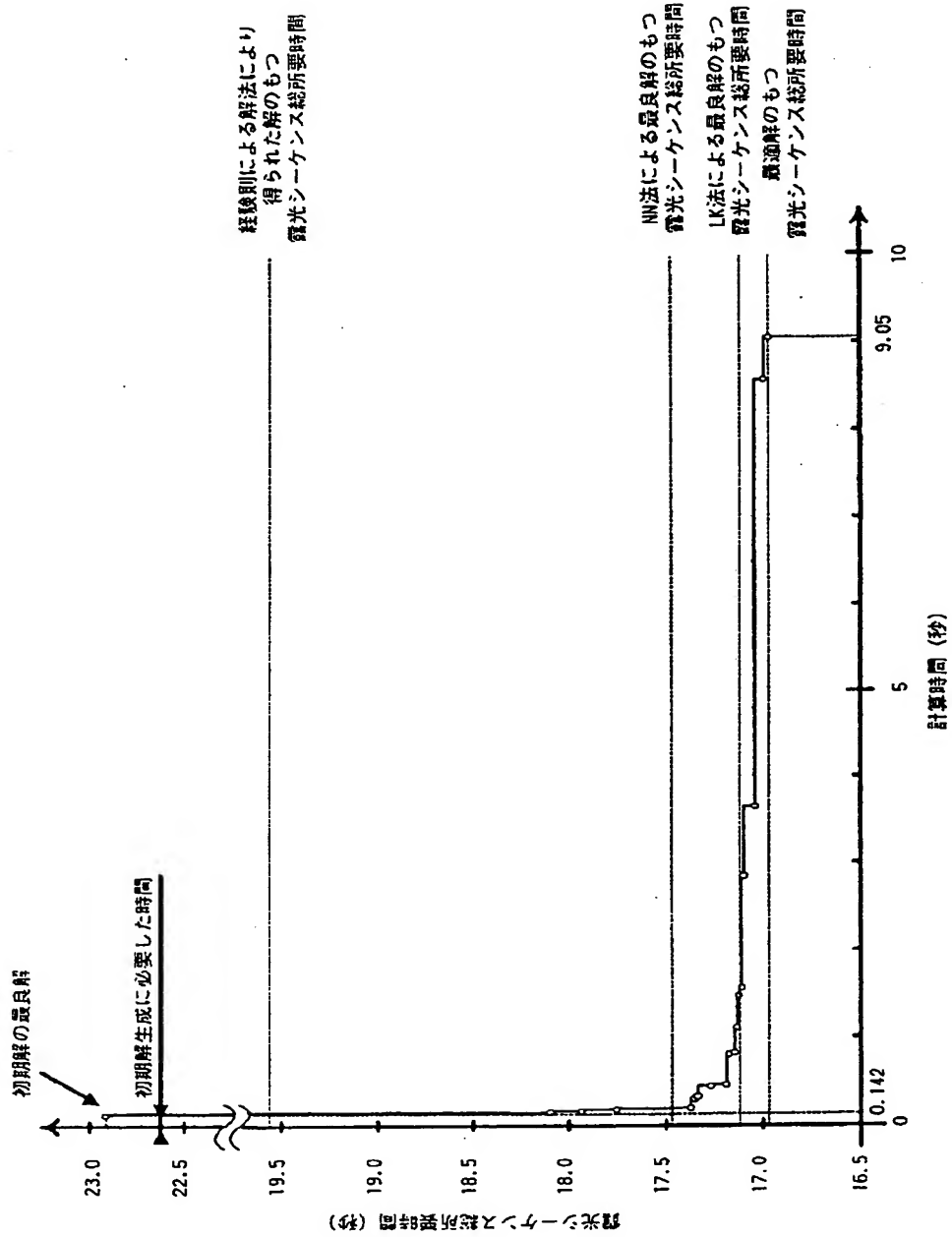
【图 2 1】



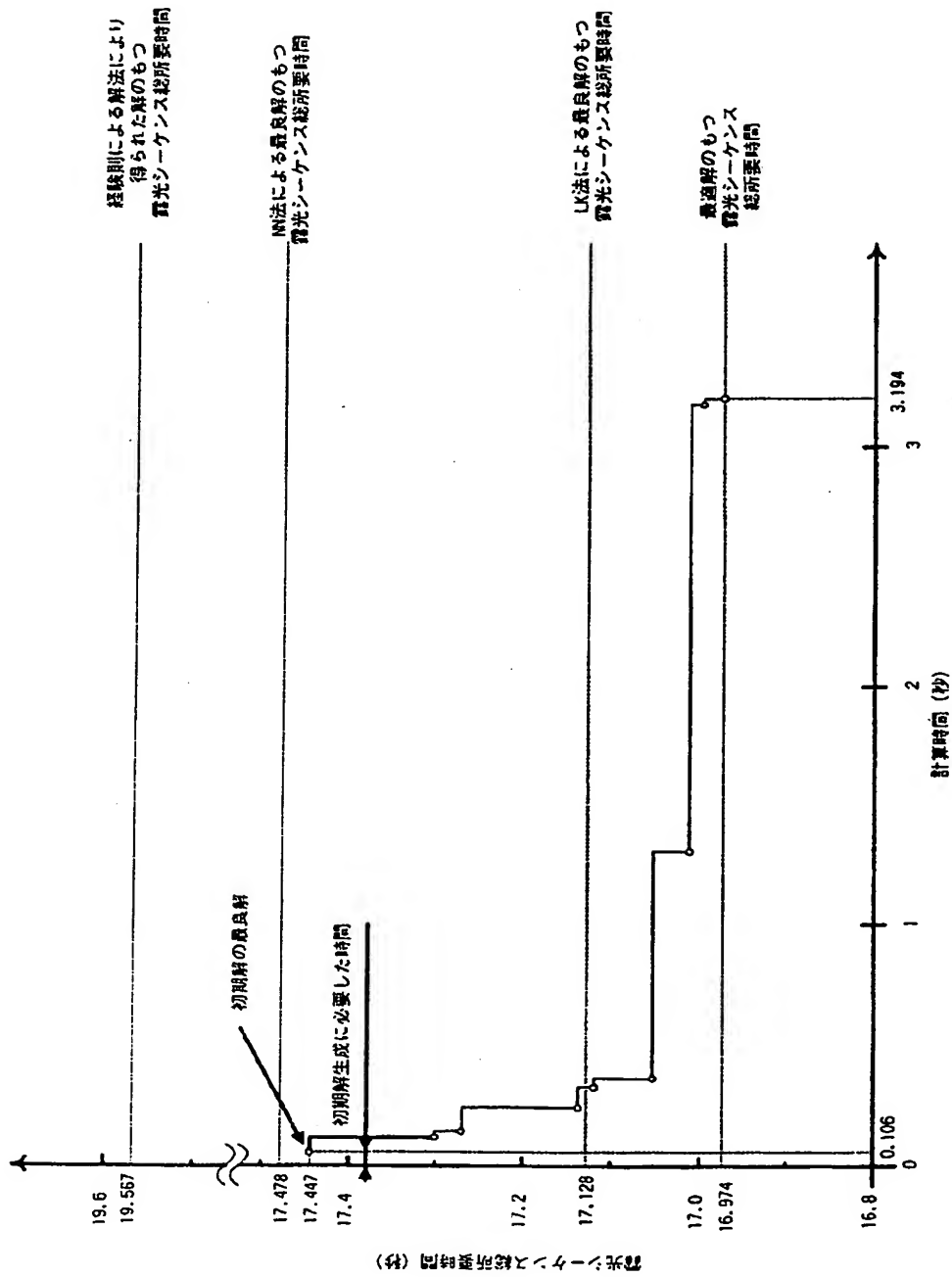
【図22】



【図23】



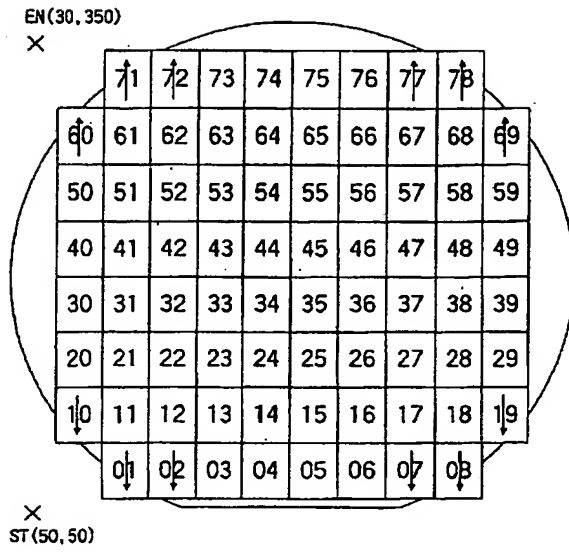
露光シーケンズ総所要時間(秒)



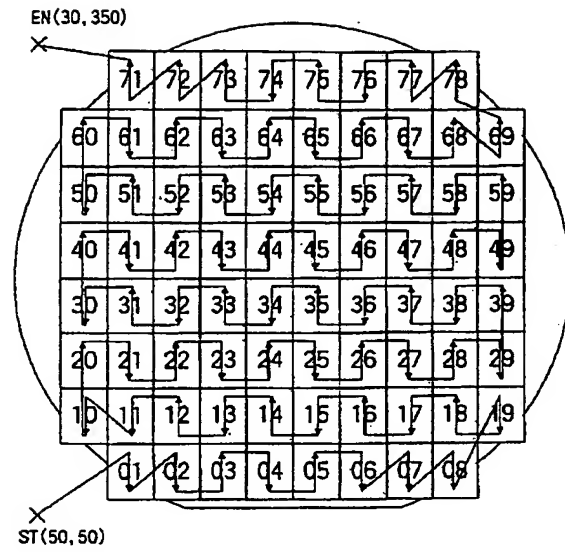
【図 25】

ショット	位置	方向	ショット	位置	方向
開始	(50,50)	Any	40	(75,232)	Any
01	(100,100)	Back	41	(100,232)	Any
02	(125,100)	Back	42	(125,232)	Any
03	(150,100)	Any	43	(150,232)	Any
04	(175,100)	Any	44	(175,232)	Any
05	(200,100)	Any	45	(200,232)	Any
06	(225,100)	Any	46	(225,232)	Any
07	(250,100)	Back	47	(250,232)	Any
08	(275,100)	Back	48	(275,232)	Any
10	(75,133)	Back	49	(300,232)	Any
11	(100,133)	Any	50	(75,265)	Any
12	(125,133)	Any	51	(100,265)	Any
13	(150,133)	Any	52	(125,265)	Any
14	(175,133)	Any	53	(150,265)	Any
15	(200,133)	Any	54	(175,265)	Any
16	(225,133)	Any	55	(200,265)	Any
17	(250,133)	Any	56	(225,265)	Any
18	(275,133)	Any	57	(250,265)	Any
19	(300,133)	Back	58	(275,265)	Any
20	(75,166)	Any	59	(300,265)	Any
21	(100,166)	Any	60	(75,298)	Fore
22	(125,166)	Any	61	(100,298)	Any
23	(150,166)	Any	62	(125,298)	Any
24	(175,166)	Any	63	(150,298)	Any
25	(200,166)	Any	64	(175,298)	Any
26	(225,166)	Any	65	(200,298)	Any
27	(250,166)	Any	66	(225,298)	Any
28	(275,166)	Any	67	(250,298)	Any
29	(300,166)	Any	68	(275,298)	Any
30	(75,199)	Any	69	(300,298)	Fore
31	(100,199)	Any	71	(100,331)	Fore
32	(125,199)	Any	72	(125,331)	Fore
33	(150,199)	Any	73	(150,331)	Any
34	(175,199)	Any	74	(175,331)	Any
35	(200,199)	Any	75	(200,331)	Any
36	(225,199)	Any	76	(225,331)	Any
37	(250,199)	Any	77	(250,331)	Fore
38	(275,199)	Any	78	(275,331)	Fore
39	(300,199)	Any	終了	(30,350)	Any

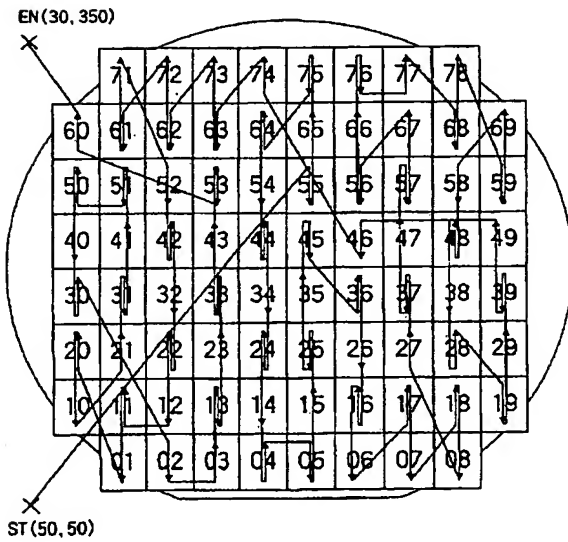
【図 26】



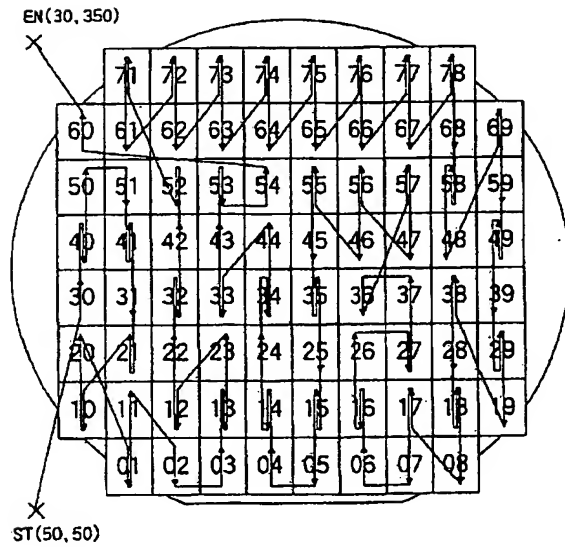
【図 27】



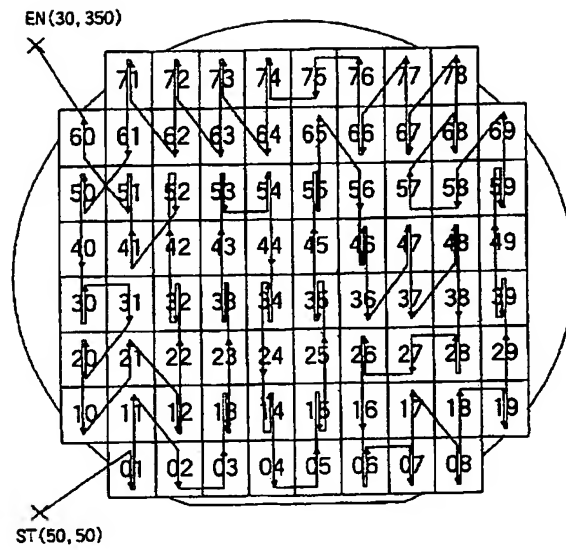
【図 28】



【図 29】



【図 3 0】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

F I

H 0 1 L 21/30

5 1 8